



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

## **Mafisten ja ultramafisten vulkaniittien petrologia Kittilän alueella**

Mikko Johannes Nenonen

Pro gradu -tutkielma

Oulu Mining School

Teknillinen tiedekunta

Oulun yliopisto

2018



Tekijä (Sukunimi ja etunimet) Nenonen Mikko Johannes	Tutkielman sivumäärä 79+72
Työn nimi	
Mafisten ja ultramafisten vulkaniittien petrologia Kittilän alueella, Pohjois-Suomessa	
Asiasanat: Geokemia, tholeiitti, komatiitti, pikriitti, Keski-Lapin vihreäkivivyöhyke, Suurikuusikko, Kittilä	
<p>Kittilän vihreäkivikompleksina tunnettu Kittilän sviitti on Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeeseen kuuluvista vulkaanissyntyisistä yksiköistä nuorin (n. 2015 Ma). Kittilän sviitti on jopa 9 kilometrin paksuinen tholeiittinen vulkaniittikerrostuma, joka on syntynyt mantereiden repeämisen aikana muodostuneeseen juveliiniin merenpohjaan ja se on ainakin osittain allohtoninen. Runsaiden metavulkaniittien lisäksi sviitissä on myös merellisiin sedimenttialtaisiin kerrostuneita kemiallisia sedimenttejä sekä vulkaniittien päälle kerrostuneita, nuorempia sedimenttisiä kvartsi-maasälpäliuskeita. Kittilän sviitin kivilajit voidaan jakaa neljään eri muodostumaan, jotka ovat Kautoselän, Porkosen, Vesmajärven ja Pyhäjärven muodostumat.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä erityisesti vulkaanissyntyisten Kautoselän ja Vesmajärven muodostumien ja niihin kuuluvien vulkaniittien petrologiaan. Tutkimusalueelta, joka oli laajuudeltaan noin 1220 km<sup>2</sup> ja ulottui 30 kilometrin etäisyydelle Kittilän kultakaivoksesta (Suurikuusikko), kerättiin kalliopaljastumista ja kairasydämiä 128 näytettä, joille tehtiin kokokivianalyysi XRF-menetelmällä. Näiden analyysien perusteella valittiin 95 näytettä, joille tehtiin tarkempi REE- ja hivenalkuaineiden määrittäminen ICP-MS- ja ICP-OES menetelmillä. Tutkimusalueen kivilajien petrografista kuvausta varten teetettiin 49 kiillotettua ohuthiettä.</p> <p>Geokemiallisten analyysien perusteella tutkimusalueella esiintyy kaksi vallitsevaa ja toisistaan selkeästi erottuvaa vulkaniittityyppiä, jotka voidaan luokitella aiempien tutkimusten yhteydessä määritettyihin Kautoselän ja Vesmajärven muodostumiin. Kautoselän muodostuman vulkaniitit erottuvat Vesmajärven muodostumasta niiden huomattavasti jyrkemmän kondriittinormalisoidun REE-jakauman ja jopa kolmikertaisilla pääalkuaineiden K, Ti ja P ja hivenalkuaineiden Zr, Ce, Eu, Gd, La, Nd, Pr, Rb, Sm, Tb, Ba ja Be pitoisuuksilla. Vesmajärven muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien REE-jakauma on lähes tasainen ja vain Cr-, Mg- ja Ni-pitoisuudet ovat Kautoselän muodostumaa korkeammat. Yksinomaan Fe-tholeiittisia basalteista koostuva Kautoselän muodostuma vastaa koostumukseltaan mantereisia basaltteja, kun taas Vesmajärven muodostumaan rinnastetut Fe- ja Mg-tholeiittiset basaltit vastaavat valtameren keskiselänteiden basaltteja, mikä viittaa niiden syntyneen vaikutuksessa merelliseen litosfäärilaataan tai mantereiden repeämisen yhteydessä. Edellä mainittuihin muodostumiin luokiteltujen vulkaniittien koostumuksilla ei ole selkeää rajaa. Tutkimusalueella esiintyy satunnainen, muutamista näytteistä koostuva joukko, joka koostumukseltaan soveltuu luokiteltavaksi kumpaankin muodostumaan.</p> <p>Vesmajärven ja Kautoselän muodostumaan luokiteltujen vulkaniittien lisäksi tutkimusalueella esiintyy myös kehittyneempiä, Könkään muodostumalle tyypillisiä basaltteja sekä koostumukseltaan komatiittisia basaltteja ja ultraemäksisiä oliviinikumulaatteja. Kehittyneet basaltit eroavat Vesmajärven ja Kautoselän muodostumaan rinnastetuista basalteista niiden erittäin korkeiden Zr-, P- ja Ti-pitoisuuksien puolesta. Koostumukseltaan pikriittejä tai Ti-rikastuneita komatiitteja vastaavat ultraemäksiset laavat ovat voimakkaasti muuttuneita ja vain kromiitti on säilynyt niissä lähes primäärinä. Kromiitteihin tehtyjen mikroanalyyysien perusteella niiden koostumukset vastaavat osittain Kittilän alueella sijaitsevien Peuranmaan pikriittien sekä Jeesiörovan komatiitteja. Ultraemäksisten laavojen kondriittinormalisoitu REE-jakauma ei kuitenkaan vastaa Keski-Lapin muita, LREE-alkuaineista köyhtyneitä komatiitteja, vaan se on selkeästi LREE-rikastunut ja muistuttaa läheisesti Savukosken ryhmään kuuluvia pikriittejä.</p>	



## Sisällysluettelo

1. JOHDANTO.....	4
1.1. Tutkimusalue .....	4
1.2. Työn tavoite ja aiemmat tutkimukset.....	5
2. KESKI-LAPIN VIHREÄKIVIVYÖHYKE .....	7
3. KITTELÄN VIHREÄKIVIVYÖHYKE .....	10
3.1. Kittilän sviitin muodostumat.....	14
3.1.1 Kautoselän muodostuma .....	15
3.1.2 Vesmajärven muodostuma .....	20
3.1.3 Porkosen muodostuma .....	28
3.1.4 Pyhäjärven muodostuma.....	29
4. NÄYTTEENOTTO JA ANALYYSIMENETELMÄT .....	29
4.1. Kalliopaljastumat ja tutkimusajat.....	29
4.2. Syväkairausaineisto.....	31
4.3. Näytteiden esikäsittely .....	31
4.4. Analyysimenetelmät.....	32
5. TULOKSET .....	34
5.1. Kivilajikuvaus.....	34
5.1.1 Massiiviset ja tyynyrakenteiset basalttiset laavat .....	38
5.1.2 Komatiittiset basaltit ja ultraemäksiset kumulaatit .....	40
5.1.3 Amfiboliitit .....	44
5.2. Mikroanalyysitulokset .....	46
5.3. Geokemiallinen luokittelu .....	50
5.4. Geotektoninen luokittelu .....	64
6. TULOSTEN TARKASTELU .....	67

7.	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO .....</b>	<b>74</b>
8.	<b>KIITOKSET.....</b>	<b>75</b>
9.	<b>VIITELUETTELO .....</b>	<b>76</b>

## LIITTEET

Liite 1 Ohuthieiden petrografinen kuvaus

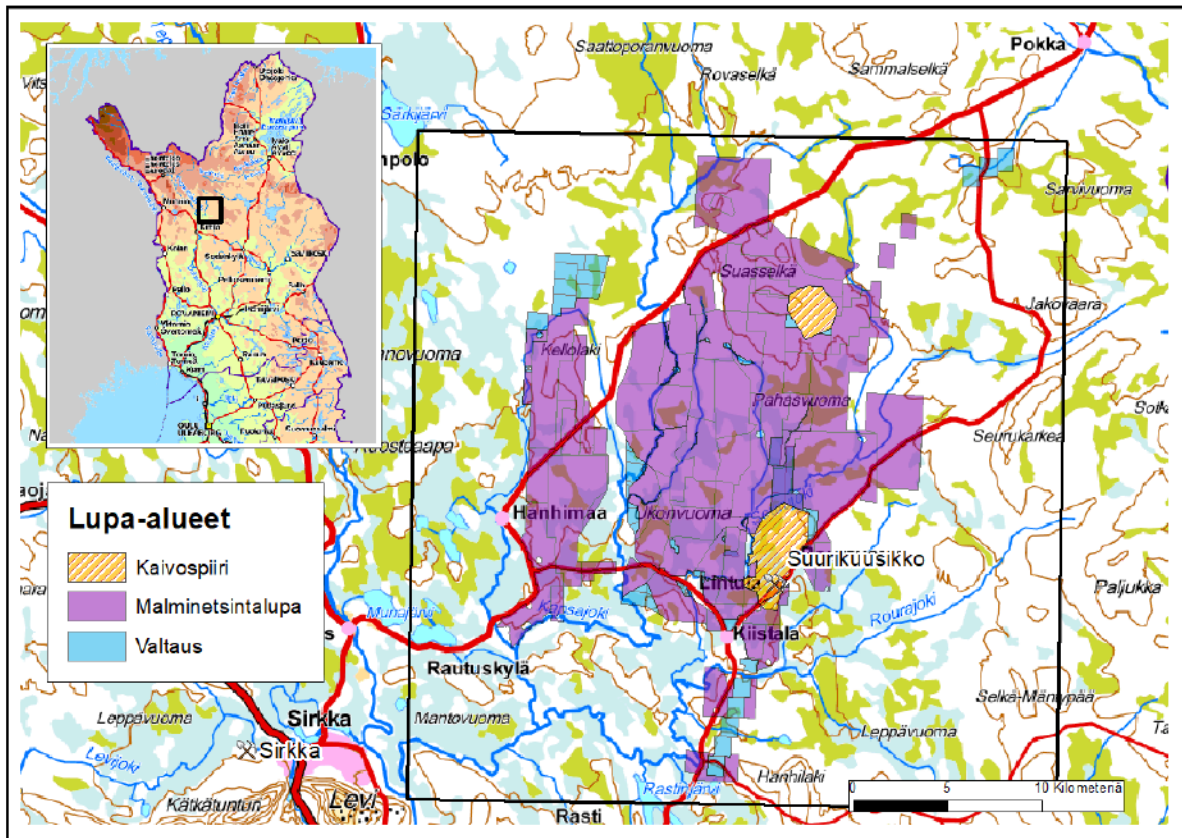
Liite 2 Geokemialliset analyysit

Liite 3 Mikroanalyysitulokset

## **1. JOHDANTO**

### **1.1. Tutkimusalue**

Tämän opinnäytetyön tutkimusalue on rajattu käsittämään noin 1220 km<sup>2</sup> laajaa aluetta Kittilän kunnasta (Kuva 1). UTM-karttalehtijaon mukaisesti alue sijoittuu karttalehtien V431, V432 sekä U442 alueelle. Tutkimusalueelle sijoittuvat Kittilän kuntaan kuuluvat Kiistalan, Hanhimaan, Rautuskylän sekä Lintulan kylät. Opinnäytetyössä käytetty aineisto on kerätty pääasiallisesti työn tilaajan, Agnico Eagle Finland Oy:n hallinnoimilta malminetsintä- ja valtausalueilta sekä Suurikuusikon ja Kuotkon kaivospiirien alueilta (Kuva 1). Työn tavoitteen ja sen kaikkia hyödyttävän yleistä geologiaa tarkentavan luonteen johdosta kiviläynteitä on kerätty myös tilaajan hallinnoimien lupa-alueiden ulkopuolelta jokamiehen oikeuksiin nojaten.



**Kuva 1.** Opinnäytetyön tutkimusalue Kittilän kunnassa (rajattu tummalla suorakulmiolla) ja Agnico Eagle Finland Oy:n hallinomat lupa-alueet (käytetty karttaineisto: Maanmittauslaitoksen maastotietokanta, 5/2015. Agnico Eagle Finland Oy:n lupa-alueet esitetty Tukesin karttatiedostojen, 19.2.2018 mukaan).

## 1.2. Työn tavoite ja aiemmat tutkimukset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ja tarkentaa kerätyn näyteaineiston sekä aiempiin tutkimuksiin liittyvien geokemiallisten analyysien ja kalliohavaintojen avulla Kittilän alueella esiintyvien mafisten ja ultramafisten vulkaniittien petrologiaa, geokemiallisia koostumuksia ja niiden välisiä eroavaisuuksia. Työn tavoitteena on kartuttaa sekä tarkentaa geologista tietoa Kittilän vihreäkivivyöhykkeen kallioperästä, erityisesti Agnico Eagle Finland Oy:n valtaus/malminetsintä sekä kaivospiirien ja niiden läheisiltä alueilta.

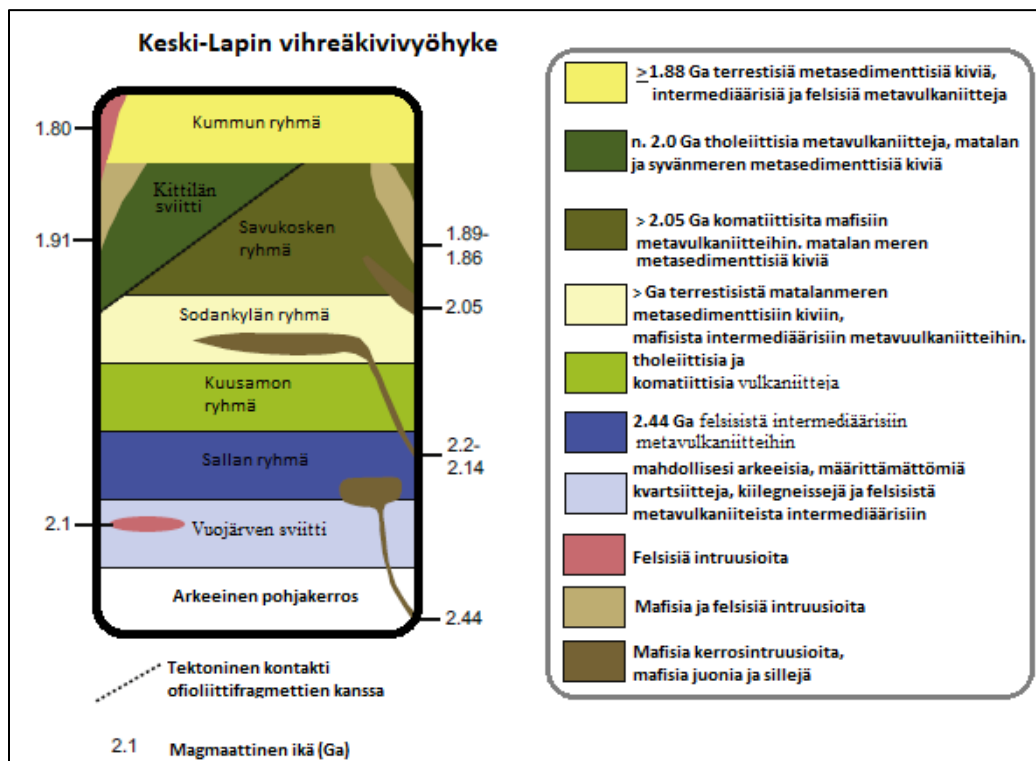
Tavoitteena on kuvata Kuvassa 1 esitetyille tutkimusalueelle tyypilliset kivilajit ja niiden geokemiallisia koostumuksia, pyrkiä erottamaan niiden ominaisuuksien perusteella toisistaan poikkeavia vulkaniittigeneraatioita sekä mahdollisesti selvittää niiden stratigrafista suhdetta toisiinsa. Aiempien tutkimusten perusteella on havaittu, että alueella esiintyy kantamagmaaltaan tai syntyavaltaan neljä erilaista vulkaanista tai sedimentogeenistä yksikköä: Kautoselän, Porkosen, Vesmajärven sekä Pyhäjärven muodostumat.

Tutkimusalue on kooltaan hyvin laaja, mikä tekee tiheän näytteenoton mahdottomaksi tai vähintäänkin hyvin työlääksi. Tätä opinnäytetutkimusta varten kerätyt kivinäytteet ovat palanäytteitä kalliopaljastumista tai tutkimusojista sekä kairasydännäytteitä tilaajan syväkairausaineistosta. Kerätystä aineistosta valtaosa näytteistä sijoittuu Suurikuusikon kaivospiiriin alueelle tai sen välittömään lähistöön. Tutkimusalueelle muodostunut näyteverkko käsittää kuitenkin koko alueen, ja sen avulla saadaan työn tarkoitukseen nähden tarkka kuva alueella vallitsevista vulkaanisista kivilajeista ja niiden muodostamista kivilajiyksiköistä.

Kittilän alueen geologiaa on tutkittu jo lähes vuosisadan verran, mutta Kittilän vihreäkivijaksoon kuuluvien vulkaniittien kerrosjärjestys ja niiden alueellinen esiintyminen on edelleen heikosti tunnettu. Kallioperäkartalla kuvattu eri vulkaniittimuodostumien levinneisyys on pääasiallisesti esitetty vulkaniittien geofysikaalisten ominaisuuksien perusteella. Tämän tutkielman yhteydessä on käytetty pohjatietona ja vertailuaineistona pääasiallisesti noin 30 vuotta sitten toteutetun Geologian tutkimuskeskuksen Lapin vulkaniittiprojektin (LVP) aineistoa. Projektin oli tarkoitus tukea yleisesti Keski-Lapin alueen malminetsintää sekä kartuttaa yleistä geologista perustutkimustietoa alueesta. Sen aineisto kerättiin vuosien 1984-1986 aikana. Lapin vulkaniittiprojektin toiminnasta on olemassa useita vuosikertomuksia noilta vuosilta, mutta tälle tutkielmalle tärkein kirjallisuusviite on yhteenvetoraportti LVP:n havainnoista Kittilän alueelta (Lehtonen et al., 1998).

## 2. KESKI-LAPIN VIHREÄKIVIVYÖHYKE

Keski-Lapin läpi kulkevaa, runsaasti paleoproterotsooisia mafisia laavakiviä sisältävää vyöhykettä kutsutaan Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeeksi (Central Lapland greenstone belt, CLGB). Geologisesti se sijoittuu Keski-Lapin granitoidikompleksin ja granuliittivyöhykkeen väliin ja on osa Karjalan kratonia Fennoskandian kilpialueella. Keski-Lapin vihreäkivivyöhyke jatkuu Suomen rajojen ulkopuolelle Pohjois-Norjaan sekä itään Venäjän rajan tuntumaan. Sisällyttäen nämä jatkeet Norjan Venäjän puolelle Keski-Lapin vihreäkivivyöhyke on ikäluokassaan yksi maailman suurimmista vihreäkivivyöhykeistä (Hanski & Huhma, 2005). Keski-Lapin vihreäkivivyöhyke voidaan jakaa alueellisesti kolmeksi alayksiköksi, jotka ovat Puljun, Kolari-Kittilä-Sodankylän sekä Kuusamo-Sallan vihreäkivivyöhykkeet (Konnunaho et al. 2015)

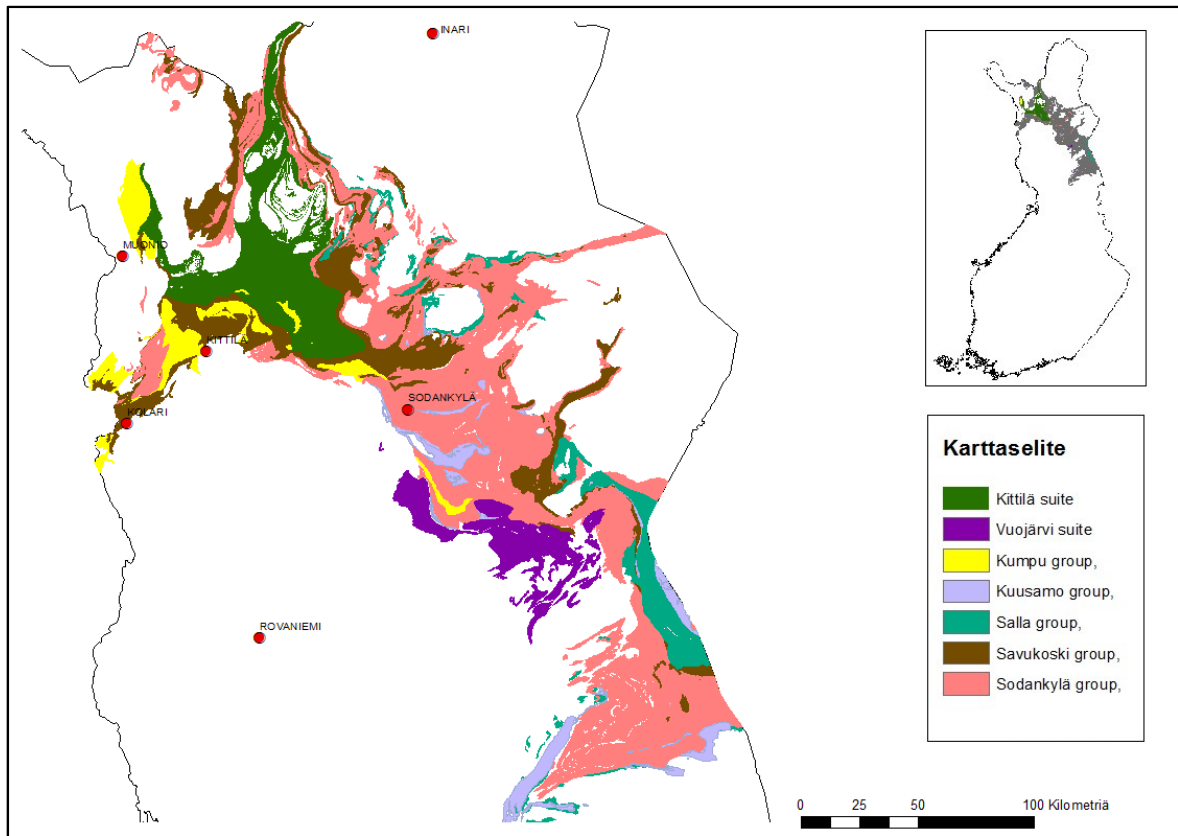


**Kuva 2.** Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen litostratigrafiset yksiköt ja niiden yhteydessä esiintyvät intruusioiden (muotoiltu Niirasen et al. (2015), Hanskin et al. (2001) ja Bedrock of Finland-Digikp (2016) -kartan mukaan).

Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen vanhimmat kivilajit ovat emäksisiä kerrosintrusioita ja juonia (Kuva 2), jotka purkautuivat arkeeseen graniittigneissipohjakompleksiin noin 2440 miljoonaa vuotta sitten (Hanski et al., 2001). Arkeeseen pohjakompleksin graniittigneissien iä on ajoitettu radiometrisin menetelmin välille 3.1–2.6 Ga (esim. Kröner & Compston, 1990).

Vihreäkivivyöhykkeen monivaiheinen kehitys kesti yli 550 miljoonaa vuotta huipentuen svekofenniseen vuorijonopoimutukseen noin 1.9 Ga sitten (Hanski et al., 2001). Ikäsuhteiltaan ja selvästi toisistaan eroavien kivilajien muodostumisolosuhteiden johdosta Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen suprakrustiset kivilajiyksiköt voidaan jakaa karkeasti kahteen eri-ikäiseen yksikköön. Ensimmäisenä arkeeseen pohjakompleksin repeämiseen liittyvän magmatismien yhteydessä kerrostui vulkaanis-sedimenttinen karjalainen yksikkö (2.44–2.0 Ga). Se saavutti lopullisen muotonsa monivaiheisen, svekofenniseen vuorijonopoimutukseen liittyvän metamorfoosin sekä kompressionaalisen deformaation aikana noin 1.91–1.79 Ga sitten. Syntyneen vuoriston erodoituminen kerrostutti noin 1.89–1.77 miljardin vuoden ikäisiä ns. svekofennisen yksikön klastisia, Kummunryhmän molassisedimenttejä (Lehtonen et al., 1998; Hanski et al., 2001; Hanski & Huhma, 2005).

Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeellä arkeeseen pohjakompleksin päälle kerrostuneet suprakrustiset vulkaaniset sekä sedimenttisyntyiset kivilajiyksiköt voidaan jakaa eri-ikäisten kerrostumien perusteella seitsemään litostratigrafiseen tai litodeemiseen yksikköön (Kuvat 2 ja 3), jotka ovat järjestyksessä vanhimmasta nuorimpaan seuraavat: Vuojärven sviitti, Sallan ryhmä, Kuusamon ryhmä, Sodankylän ryhmä, Savukosken ryhmä, Kittilän sviitti sekä Kummun ryhmä (Konnunaho et al., 2015; Lehtonen et al., 1998; Hanski & Huhma, 2005; GTK:n Bedrock of Finland 1:200 000 (2016) -kartta).



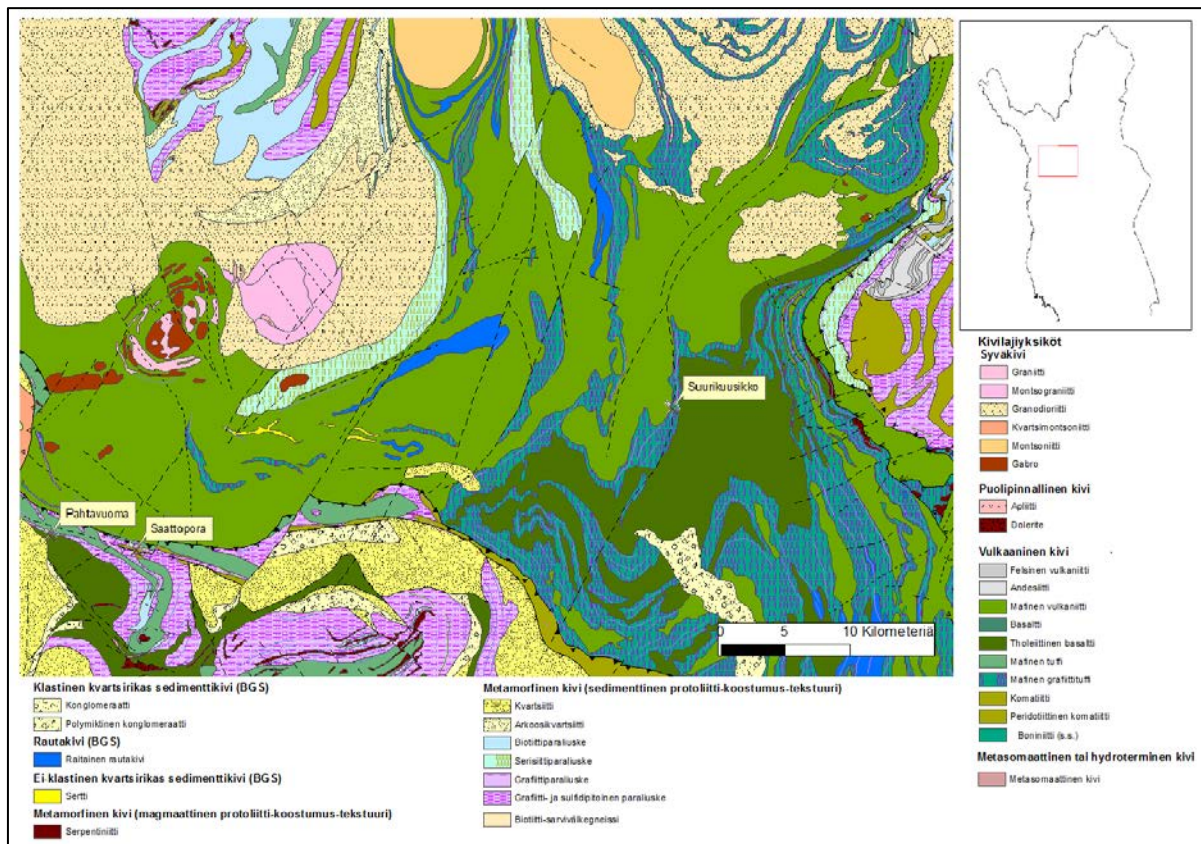
**Kuva 3.** Keski-Lapin vihreäkivivyöhyke sekä siihen rinnastettavat litostratigrafiset yksiköt (Kallioperä: Geologian tutkimuskeskus, Bedrock of Finland-Digikp, 2016).

Edellä mainitut litostratigrafiset yksiköt voidaan jakaa edelleen useisiin muodostumiin (Lehtonen et al., 1998; Hanski et al., 2001; Hanski & Huhma, 2005). Tämän tutkielman yhteydessä perehdytään tarkemmin vulkaanissyntyiseen Kittilän sviittiin sekä sen yhteydessä esiintyviin muodostumiin ja alueelliseen geologiaan. Kittilän sviitti on tunnettu aiemmin kirjallisuudessa Kittilän ryhmänä, joka uuden Finnstrati-luokituksen mukaan nimettiin uudelleen Kittilän sviitiksi sen heikosti tunnetun ja mahdollisesti alloktoonisista osista sisältävän sisäisen stratigrafian johdosta (Luukas et al., 2017).



### 3. KITILÄN VIHREÄKIVIVYÖHYKE

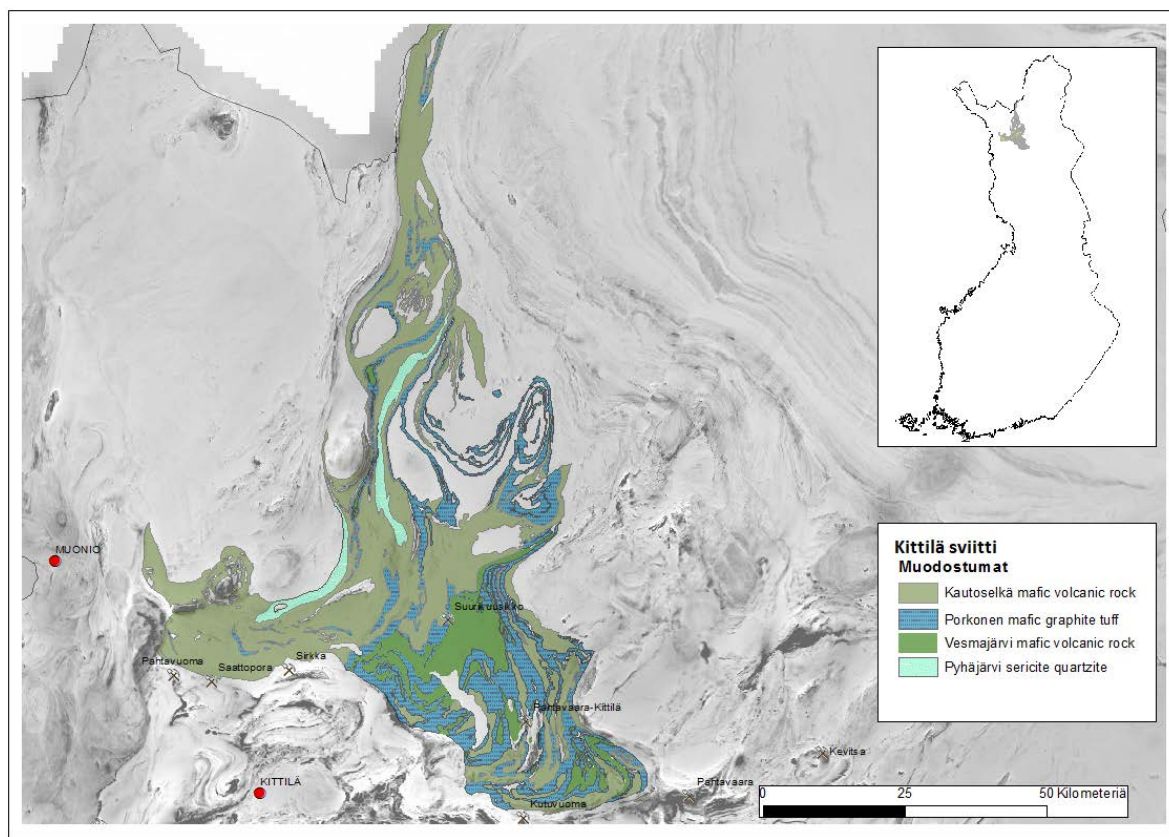
Muihin Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen litostratigrafisiin yksiköihin verrattuna Kittilän sviittiin kuuluu eniten vulkaanisia kivilajeja. Sitä onkin aikaisemmin kutsuttu Kittilän vihreäkivikompleksiksi, sillä se muodostaa yhtenäisen, hyvin deformatuneen ja noin 2600 km<sup>2</sup> laajuisen vulkaanis-sedimenttisen kivilajikeskittymän Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen keskiosassa (Hanski & Huhma, 2005). Kittilän sviitin vulkaniittien on arvioitu seismisten heijastusluotausten perusteella ulottuvan jopa 9 kilometrin syvyyteen (Niiranen et al., 2014).



Kuva 4. Kittilän alueen kallioperäkartta (GTK:n Bedrock of Finland-DigiKp, 2016 -kartta).

Iältään Kittilän sviitti on Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen vulkaanissyntyisistä karjalaisista ryhmistä nuorin, noin 2015 miljoonaa vuotta (Hanski & Huhma, 2005). Kittilän sviitin tholeiittisista metavulkaniiteista tehdyt isotooppitutkimukset osoittavat, että ne voivat olla ainakin osaksi muodostuneet mantereisen repeämän synnyttämän, juveniilisen merenpohjan muodostumisen aikana. Kittilän sviitin kivilajiyksiköt voivat olla myös osittain alloktoonisia eli tektonisten liikuntojen kuljettamia (Hanski & Huhma, 2005). Myös tulkinnat Keski-Lapin alueella tehdystä seismisestä heijastusluotauksesta antaa viitteitä siitä, että Kittilän sviitin kallioperä koostuu useasta, selvästi toisistaan erottuvasta kuorilohkosta (Pattison et al., 2007). Kuoren osien lopullinen tektoninen paikalleenasettuminen voidaan kuitenkin ajoittaa zirkoneista tehtyjen U-Pb-ikänmäärittelyksen avulla tapahtuneen viimeistään Ruoppapalon granodioriittisen intruusion ( $1914 \pm 3$  Ma) (Hanski & Huhma, 2005) ja felsisen Nyssäköksen juonen ( $1919 \pm 8$  Ma) (Rastas et al., 2001) intrudoituessa Kittilän sviitin vulkaniittijaksoon.

Iältään Kittilän sviitin mafista vulkanismia edustaa parhaiten Selkäsenvuoman gabron zirkoneista tehdyt U-Pb-ikänmäärittelykset ( $2008 \pm 3$  Ma) (Huhma et al., 2018). Tutkimusalueella esiintyvät myös Veikasenmaan ( $2007 \pm 5$  Ma) ja Kiimarovan ( $2005 \pm 6$  Ma) felsiset porfyryrit, joista tehdyt ikänmäärittelykset vastaavat Selkäsenvuoman gabron ikää läheisesti (Huhma et al., 2018). Kittilän sviitin vulkaniittien päälle on kerrostunut diskordantisti myös nuorempia sedimenttisiä kerroksia, kuten Kummun ryhmän kvartsiitteja ja konglomeraatteja (Kuva 4) (Lehtonen et al., 1998).



**Kuva 5.** Kittilän sviitti Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeellä sekä siihen kuuluvat Kautoselän, Porkosen, Vesmajärven ja Pyhäjärven muodostumat (GTK:n Bedrock of Finland -DigiKp, 2016 -kartta; Lentogeofysikaalinen magneettinen harmaasävykartta, 2013).

Kittilän sviitin kivilajeihin kuuluu suuren metavulkaniittimäärän lisäksi myös sedimenttisiä yksiköitä ja välikerroksia, kuten merellisessä ympäristössä syntyneitä fylliittejä grafiitti- ja sulfidipitoisia liuskeita ja raitaisia rautamuodostumia (BIF). Kittilän sviitin alueella voidaan tavata myös vähäisemmin esiintyviä karbonaattikivilajeja (Hanski & Huhma, 2005). Alueen emäksiset kivet ovat pääosin rauta- ja magnesiumrikkaita tholeiittisia metavulkaniitteja, kuten massiivisia laavoja ja tyynylaavoja sekä vulkaanisia breksioita. Vulkaaniset sedimentit koostuvat useimmiten hyalotuffeista ja vulkaanisista konglomeraateista, agglomeraateista (Hanski et al., 2001).

Kittilän sviittiin kuuluu neljä eri tyyppimuodostumaa (esitetty Kuvassa 5 ja Taulukossa 1), jotka ovat vanhimmasta nuorimpaan: yksinomaan Fe-tholeiittisista vulkaniiteista koostuva Kautoselän muodostuma, rautamuodostumia sekä sulfidi- ja grafiittiliuskeita sisältävä Porkosen muodostuma, Fe- ja Mg-tholeiittisista vulkaniiteista koostuva Vesmajärven muodostuma sekä kiilleliuskeista ja grauvakoista koostuva Pyhäjärven muodostuma (Lehtonen et al., 1998). Edellä mainittujen muodostumien lisäksi Kittilän sviittiin voidaan lukea kuuluvaksi myös esimerkiksi Könkään muodostuma. Könkäällä, Ounasjoen rantatörmillä paljastuneet kalliot vastaavat koostumukseltaan merellisten vulkaanisten saarten (OIB, Ocean island basalt) LILE- ja HFSE-ryhmien alkuaineista rikastuneita basaltteja (Hanski & Huhma, 2005).

**Taulukko 1.** Kittilän sviitin tyyppimuodostumat pääkivilajeineen sekä niihin rinnastettavat muodostumat (Lehtonen et al., 1998).

Ryhmä	Ikä U-Pb/Zr	Tyyppimuodostuma	Litologia	Muodostuma
<b>Kittilän Sviitti</b>	n. 2012 Ma	Pyhäjärven muodostuma	Kiilleliuskeita ja grauvakkoja	Kirjaselkä
		Vesmajärven muodostuma	Mg-tholeiittisia metavulkaniitteja	Veikasenmaa Köngäs Pokka Pälkäkero Pallastunturi
		Porkosen muodostuma	Raitaisia rautamuodostumia, rauta-sulfidi/rauta-karbonaattiliuskeita	Suasselkä
	>2012 Ma	Kautoselän muodostuma	Fe-tholeiittisia metavulkaniitteja	Karjakko-oja Tarvasenvaara Kulkuvuoma

Kittilän sviitin itäisen kontaktin alueella on noin 75 kilometriä pitkä ja kontaktia seuraileva Nuttion ketjumainen serpentiniittimuodostuma, joka koostuu useasta noin 20–400 metriä paksusta ja 100–1000 metriä pitkästä linssistä. Ultramafiset linssit ovat lähes täysin

serpentiniittiytyneitä metaperidodiitteja, joissa esiintyvät kromiittikiteet ja oliviinireliktit ainoita primäärejä mineraaleja. Nuttion ofioliitti-tyyppisen muodostuman on esitetty olevan jäännös muinaisesta merellisestä residuaalivaipasta (Hanski, 1997).

### **3.1. Kittilän sviitin muodostumat**

Kittilän sviitin vulkaniitit on jaettu kahteen tyyppimuodostumaan, Kautoselän ja Vesmajärven muodostumiin, joista Kautoselän vulkaniitit ovat stratigrafisesti järjestyksessä alempana. Vesmajärven muodostuma on Mg-tholeiittivaltainen, mutta niiden ohella esiintyy myös Fe-tholeiitteja sekä koostumukseltaan selvästi ultramafisia vulkaniitteja, kun taas Kautoselän muodostuma koostuu pelkästään mafisista, Fe-tholeiittisista vulkaniiteista (Lehtonen et al., 1998). Vulkaniittien jaottelu edellä mainittuihin kemiallisiin ryhmiin on tehty alueen laajuuteen nähden suhteellisen niukan geokemiallisen aineiston avulla. Kautoselän ja Vesmajärven muodostumien vulkaniittien esiintyminen on esitetty kallioperäkartalla lähes täysin aeromagneettisen lentogeofysiikan perusteella. Edellä mainitut kivilajityypit on eroteltu toisistaan niille tyypillisten magneettisten ominaisuuksien perusteella (Wyche et al., 2015).

Alueelta tehtyjen geokemiallisten analyysien perusteella edellä mainittujen muodostumien vulkaniittien erilainen differentioitumisaste on selvästi näkyvissä. Geologian tutkimuskeskuksen toteuttaman Lapin vulkaniittiprojektin vuosina 1984-1989 kerätyn geokemiallisen aineiston perusteella 223 analyysinäytettä edustaa Kautoselän muodostumaa. Vesmajärven muodostumaa edustaa 143 analyysinäytettä, joista 33 näytettä vastaa koostumukseltaan ultramafista vulkaniittia. Mafisten vulkaniittianalyysien lisäksi alueelta on 50 analyysiä, jotka vastaavat koostumukseltaan felsisiä vulkaniitteja (Lehtonen et al., 1998).

Kittilän sviitin metavulkaniitteja on tutkittu myös Sm-Nd-isotooppianalyysien avulla, joilla on voitu todistaa muodostumien syntyneen useammasta kantamagmasta kuoren eri kehitysvaiheissa. Vulkaanisista kivilajeista koostuvan Kittilän sviitin oletetaan



muodostuneen merialtaan suppenemisen aikana tapahtuneesta, merellisen kuoren sekä saarikaaripalojen yhteenliittymistä (Hanski & Huhma, 2005).

### *3.1.1 Kautoselän muodostuma*

Kautoselän muodostuman tyypillisimpiä pääkivilajeja ovat muun muassa mafiset mantelilaavat, tuffit, tuffiitit sekä plagioklaasi-uraliittiporfyyriitit. Näiden pääkivilajien lisäksi muodostumassa esiintyy myös silttikiviä, kvartsiitteja, konglomeraatteja, grauvalkalliuskeita, karbonaattikiviä sekä mustaluiskeita (Lehtonen et al., 1998). Koostumukseltaan Fe-tholeiittiset metavulkaniitit on erotettu kallioperäkartalla alueena, jolla sen vulkaanisten kivilajien aiheuttama totaalimagneettikenttä on Vesmajärven muodostuman kivilajeja voimakkaampi (Wyche et al., 2015).

Varsinainen Kautoselän tyyppimuodostuma sijaitsee Keulakkopään ja Kuolavaaran eteläpuolella muodostaen noin 20 kilometriä pitkän, itä-länsisuuntaisen vulkaniittijakson. Muodostuma sijoittuu karttalehdille 3712 08 ja 3712 11. Kautoselän muodostumaan rinnastetaan useampia eri muodostumia, kuten Karjakko-ojan, Kulkuvuoman ja Tarvasenvaaran muodostumat. Kautoselän ja siihen rinnastettavat muodostumat kattavat valtaosan Kittilän vihreäkivivyöhykkeen alueesta (Kuva 5) (Lehtonen et al., 1998).

Litologialtaan Kautoselän muodostuma voidaan jakaa kolmeen eri jäseneen. Alimpana jäseneenä on vähintäänkin 500 m paksu, sedimentogeeninen Ikkarinvuoman jäsen. Sen ylin taso rajautuu vulkaanisista kivilajeista koostuvaan, noin 1000 metriä paksuun Kaunisledon jäseneen, joka taas vaihettuu vähintään 200 metriä paksuun, vulkaanis-sedimenttisyntyiseen Jurpulehdon jäseneen (Lehtonen et al., 1998). Sedimentogeeninen Ikkarinvuoman jäsen koostuu fylliiteistä, hienorakeisista silttikivistä sekä karbonaattikivistä, jotka vaihtuvat ylempään Kaunisledon jäseneen. Kaunisledon muodostuma koostuu massamaisista ja porfyirisistä laavoista sekä mantelikivistä. Ylin Jurpulehdon jäsen koostuu mafisista laavoista sekä sedimenttisistä kerroksista, kuten hienorakeisista tuffeista ja tuffiiteista, grafiitti-sulfidiluiskeista sekä grauvalkoista sekä konglomeraateista (Lehtonen et al., 1998).

Edellä mainitut kivilajit on kuvattu tarkemmin alla perustuen Keski-Lapin vulkaniittiprojektin tutkimuksiin ( Lehtonen et al., 1998).

#### Mantelirakenteiset laavat

Kautoselän muodostumassa esiintyville mantelilaavoille tyypillinen mineraaliseurue on plagioklaasi-aktinoliitti±epidootti, plagioklaasi-kloriitti tai plagioklaasi-biotiitti. Edellä mainittujen päämineraalien lisäksi mantelilaavojen perusmassassa esiintyy vaihtelevia määriä rutiilia, titaniittia ja opaakkeja mineraaleja. Laavojen mantelit ovat useimmiten pyöreähköjä ja alle 5 millimetrin kokoisia, mutta myös suurempia (jopa 2 cm), epäsäännöllisen muotoisia manteleita on tavattu. Mantelit koostuvat useimmiten kvartsista, mutta myös kloriitti-, epidootti-, plagioklaasi-, karbonaatti- tai sulfiditäytteiset mantelit ovat yleisiä alueen laavoissa. Tekstuurltaan mantelilaavat ovat usein porfyyrisiä tai suuntautumattomia, pilotaksisia.

#### Plagioklaasiporfyriset laavat

Plagioklaasi-uraliittiporfyriset laavat esiintyvät Kautoselän ja Tarvasenvaaran muodostumissa mantelilaavojen yhteydessä. Niiden hajarakeet ovat kooltaan 5-20 millimetriä ja koostuvat Tarvasenvaaran muodostumassa albiitista, kun taas Kautoselän muodostumassa, jossa kyseiset laavat esiintyvät useimmiten kerroksittain, esiintyy myös amfibolia. Molempien edellä mainittujen muodostumien yhteydessä porfyyristen laavojen perusmassan koostumus vastaa alueella esiintyvien mantelilaavojen koostumusta.

#### Pyroklastiset kivet

Kautoselän muodostumaan kuuluu myös vulkaanis-sedimenttisiä kivilajeja, kuten tuffeja sekä tuffiitteja. Niille tyypilliseen mineraaliseurueeseen kuuluu aktinoliittinen amfiboli, kvartsi, albiitti, serisiitti sekä kloriitti. Mikroskooppisella tarkastelulla Kautoselän tuffit

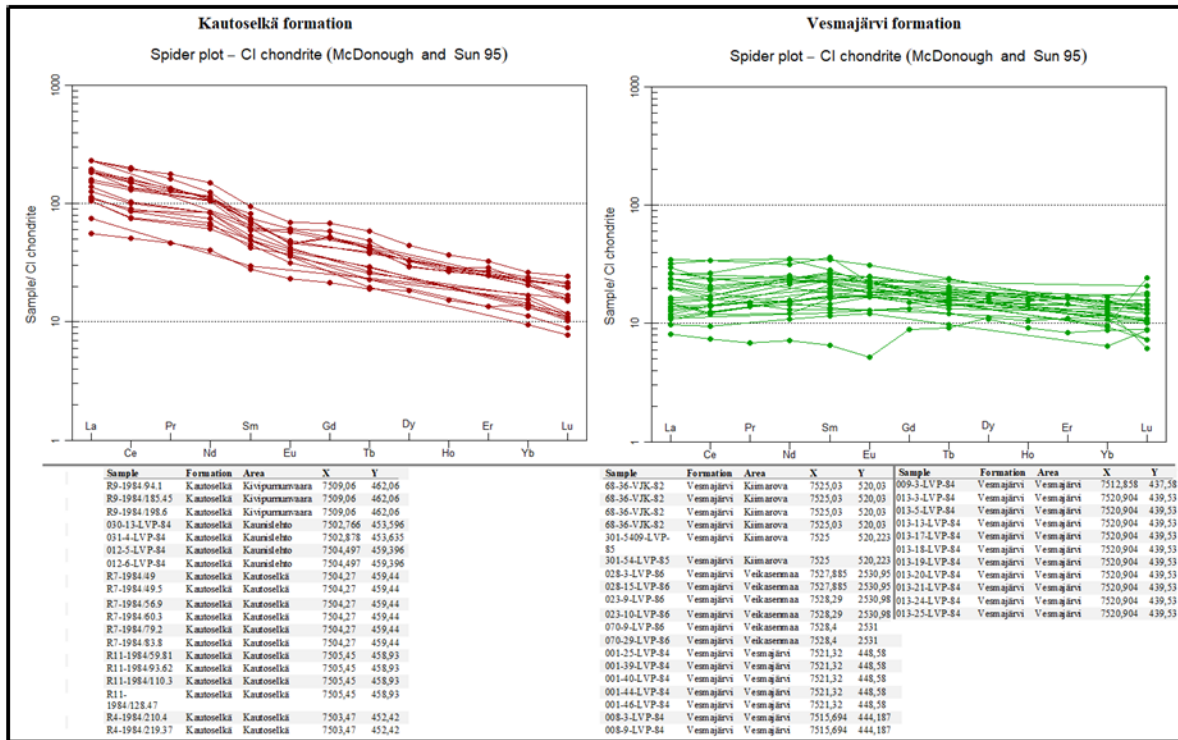
eroavat tuffiiteista niiden vähäisemmän kvartsin määrän ja suuremman amfibolipitoisuuden ansiosta.

### Epiklastiset ja kemialliset sedimenttikivet

Kautoselän muodostumassa tavataan mafisten vulkaniittien lisäksi myös epiklastisia sedimenttejä, kuten vuorokerroksellista fylliittiä, silttikiveä sekä konglomeraattia. Fylliittien ja silttikivien mineraalikoostumus vaihtelee hieman muodostumaan rinnastettavien jäsenten välillä. Kaunislehdon alueella päämineraalit ovat plagioklaasia, kvartsia sekä vaaleita kiillemineraaleja, kun taas Tarvasenvaaran fylliitissä esiintyy biotiittia ja kloriittia. Kautoselän muodostumassa tavattujen konglomeraattien klastiaines vaihtelee paikoittain aina vulkaniittivaltaisesta kvartsihiekkaiseen koostumukseen. Muodostumassa esiintyviä kemiallisia sedimenttejä ovat dolomiittiset karbonaattikivet sekä sulfidi- ja grafiittiliuskeet.

Koostumukseltaan Kautoselän muodostuman metavulkaniitit vaihtelevat Fe-tholeiittisista basalteista andesiitteihin, joiden FeOtot ja molaariset Mg-luvut ovat noin 13.5 p.-% ja 0.43. Geokemiallisilta piirteiltään Kautoselän metavulkaniitit ovat pidemmälle kehittyneitä (evolved) verrattuna Vesmajärven muodostuman metavulkaniitteihin. Muodostuman kondriittinormalisoitu REE-jakauma jyrkästi laskeva (Kuva 6) eroten Vesmajärven basalteista selkeästi (Lehtonen et al., 1998).





**Kuva 6.** Kautoselän ja Vesmajärven muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien kondriittinormalisoitu REE-jaukauma.

REE-jakaumassa on selvästi erotettavissa kevyistä harvinaisista maametalleista (LREE) rikastunut komponentti, mikä ilmenee negatiivisina initiaalisina  $\epsilon_{Nd}$ -arvoina ( $\epsilon_{Nd}$  (2.0 Ga) = -0.9 - -1.8) (Hanski & Huhma, 2005). Kautoselän vulkaniittien negatiiviset  $\epsilon_{Nd}$ -arvot ja matalat Nb/Th- sekä Nb/La-suhteet indikoivat magman alkuperän olevan litosfääri-vaipasta (SCLM, subcontinental lithospheric mantle) tai sen mahdollista vuorovaikutusta mantereisen kuoren kanssa (Hanski & Huhma, 2005). Myös yksi Kautoselän muodostumalle tyypillinen ero Vesmajärven muodostumaan verrattuna on sen tартtumattomien alkuaineiden La, P, Sm, Ta, Ti sekä Zr korkeat pitoisuudet (Taulukko 2).

**Taulukko 2.** Kautoselän muodostumaan kuuluvien basalttien keskipitoisuuksia ja tilastollisia tunnuslukuja Lehtosen et al. (1998) mukaan.

	Lukumäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	Kautoselkä/ Vesmajärvi
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	223	50,95	2,1	46,16	57,4	1,01
<b>TiO<sub>2</sub> %</b>	223	1,99	0,33	1,16	3,34	1,44
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	223	14,32	1,07	10,38	18,1	1,02
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>tot %</b>	223	15,05	1,67	11,46	22,18	1,04
<b>MnO %</b>	223	0,19	0,04	0,1	0,38	0,90
<b>MgO %</b>	223	5,69	1,7	1,71	11,78	0,78
<b>CaO %</b>	223	6,62	2,02	1,69	12,45	0,82
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	223	3,9	0,97	0,07	6,43	1,21
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	223	1,08	0,69	0,05	4,72	2,57
<b>P<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	223	0,28	0,08	0,12	0,54	2,15
<b>Cr ppm</b>	223	137	116	26	878	0,79
<b>Ni ppm</b>	223	53	32	18	353	0,66
<b>Co ppm</b>	223	46	8	25	93	0,94
<b>Sc ppm</b>	223	29	7	16	51	0,53
<b>V ppm</b>	223	331	61	230	880	0,94
<b>Zr ppm</b>	223	205	58	110	400	2,20
<b>La ppm</b>	223	27,2	9,2	9,5	61,9	3,36
<b>Sm ppm</b>	215	7,23	2,09	3,1	14,1	2,38
<b>Ba ppm</b>	223	361	237	43	1440	3,06
<b>Rb ppm</b>	223	211	114	20	580	1,94
<b>Sr ppm</b>	223	27	20	4	129	2,08
<b>Ta ppm</b>	223	1,23	0,41	0,28	2,21	2,02
<b>Th ppm</b>	223	3,98	1,34	1,71	8,17	4,23
<b>U ppm</b>	223	1,16	0,46	0,16	2,48	2,83
<b>Cs ppm</b>	223	1,35	1,16	0,21	8,55	1,55
<b>La<sub>N</sub>/Sm<sub>N</sub></b>	215	2,39	0,34	1,57	3,46	1,47
<b>Cu ppm</b>	216	210	599	0	8640	2,28
<b>S ppm</b>	216	511	1188	10	13800	0,73

Koostumukseltaan Kautoselän muodostuman vulkaniitit sijoittuvat vulkaanisten saarten basalttien (OIB) ja saarikaarten tholeiittien (IAT) välille (Hanski & Huhma, 2005). MORB-normalisoidulla jakaumalla Kautoselän muodostuman metavulkaniitit muistuttavat laatansisäisiä basaltteja (Lehtonen et al., 1998).

### *3.1.2 Vesmajärven muodostuma*

Vesmajärven tyyppimuodostuma sijaitsee karttalehdellä 3712 09 Jänesvaaran ja Vesmajärven välisellä alueella. Tyyppimuodostuman lisäksi siihen rinnastetaan myös Kittilän alueen länsiosassa sijaitsevat Könkään, Veikasenmaan ja Pälkäkeron muodostumat sekä Kittilän alueen pohjoisosassa sijaitseva Pokan muodostuma (Lehtonen et al., 1998).

Vesmajärven vulkaanis-sedimenttinen muodostuma koostuu useista, eri tyyppisistä merelliseen ympäristöön purkautuneista ja sedimentoituneista mafisista metavulkaniiteista. Muodostuman sisäinen stratigrafia on vielä heikosti tunnettu, mutta sen kivilajit ovat koostumukseltaan pääosin mafisia vulkaniitteja, mutta myös ultramafisia vulkaniitteja on tavattu (Lehtonen et al., 1998). Hanskin ja Huhman (2005) mukaan alueella esiintyvät, korkean magnesiumpitoisuuden omaavat laavat ovat enemminkin ultraemäksisistä, hajarakeista rikastuneita basaltteja kuin alkuperältään komatiittisia laavoja. Alueen mafisiin metavulkaniitteihin kuuluu tyynylaavoja, tyynybreksioita ja karkeafragmenttisia vulkaanisia breksioita. Muodostuman vulkaanis-sedimenttiset kivilajit koostuvat pääosin hyalotuffeista ja agglomeraateista. Muita, vähemmistönä esiintyviä kivilajeja ovat muun muassa karbonaattikivet, sertit sekä mustaliuskeet (Lehtonen et al., 1998). Edellä mainitut, tyypillisimmät Vesmajärven muodostumassa esiintyvät kivilajityypit kuvailtu tarkemmin alla perustuen Lehtosen et al. (1998) tutkimuksiin.

### Tyynylaavat ja hyaloklastiitit

Vesmajärven muodostumassa esiintyvät tyynylaavat ovat useimmiten koostumukseltaan basaltteja, mutta paikoin niiden MgO-pitoisuus nousee yli 15 p.-%:n, jolloin ne luokituvat basalttisiksi komatiiteiksi. Hienorakeiset ja tummanvihreät tyynylaavat ovat usein rikkoutuneet tyynybreksioiksi tai ovat vielä hienorakeisempia hyaloklastiitteja. Tyynyjen koko vaihtelee tutkimusalueella halkaisijaltaan 15 senttimetristä pariin metriin ja niiden yhteydessä tavataan usein rakenteeltaan massamaisia laavoja.

Vesmajärven muodostuman tyynylaavoille tyypillisiä mineraaliseurueita ovat plagioklaasi-aktinoliitti-(epidootti), plagioklaasi-kloriitti ja kloriitti-aktinoliitti. Aksessorisia mineraaleja ovat karbonaatit, opaakit minetraalit sekä titaniitti. Tyynylaavojen plagioklaasin koostumus vaihtelee albiitista oligoklaasiin. Tyynylaavojen perusmassa on mineraalirakenteeltaan tyypillisesti hyvin suuntautumaton: pilotaksinen, granoblastinen, porfyfriinen tai subofiittinen.

### Agglomeraatit ja vulkaaniset breksiat

Muodostuman vulkaaniset breksiat koostuvat vaihtelevasti pyöristyneistä ja erikokoisista (0,5–50 cm), mafisista vulkaniittifragmenteista sekä erittäin hienorakeisesta hyalotuhkasta koostuvasta välimassasta. Vulkaaniset breksiapatjat ovat rakenteeltaan lähes lajittumattomia ja voivat olla useita kymmeniä metrejä paksuja. Vulkaanisten konglomeraattien, agglomeraattien sekä breksioden mafisten fragmenttien koostumus on hyvin samanlainen kuin edellä kuvailtujen tyynylaavojen. Vulkaanisten breksioden kaasurakkulat ovat täyttyneet karbonaattilla, kvartsilla, kloriittilla sekä epidootilla. Breksioden klastiaineksen vulkaaninen lasi on kiteytynyt plagioklaasisiksi sekä epidootiksi.

### Mustaliuskeet, sertit ja karbonaattikivet

Vesmajärven muodostuman kuuluvat sertit ovat rakenteeltaan massamaisia, raitaisia ja väriltään useimmiten valkoisia tai harmaita, mutta myös mustia serttejä on tavattu. Ohuina

vuorottelevina kerroksina esiintyvää karbonaattikiveä on tavattu grafiittiliuskeiden yhteydessä Vesmajärven eteläreunalla. Tutkimusalueella esiintyy myös punaista jaspista, jota on paljastuneena Vuossavaarassa sekä Kapsajoella. Punaista jaspista esiintyy myös suurehkoina fragmentteina metalaavoissa.

#### Mafis-felsinen vulkaniittiassosiaatio

Vesmajärven muodostumaan rinnastettavaan Veikasenmaan muodostumaan kuuluu pääasiassa mafisia vulkaniitteja, jotka ovat laavoja, tuffiitteja ja vulkaanisia breksioita. Vallitsevina kivilajeina Veikasenmaan muodostumassa ovat juoksurakenteiset ja porfyyriset, epidootti- ja kloriittitäytteisiä manteleita sisältävät, massiiviset sekä tyynyrakenteiset laavat. Veikasenmaan laavojen tyypillinen mineraaliseurue on albiitti, tremoliitti-aktinoliitti sarjan amfiboli, epidootti ja kloriitti. Niiden lisäksi esiintyy titaniittia ja opaakkeja mineraaleja sekä vaihtelevasti kvartsia ja karbonaattia.

Edellä mainittujen mafisten vulkaniittien lisäksi muodostumassa esiintyy felsisiä porfyyrejä sekä ympäröiviä kivilajeja leikkaavia tai konformisti esiintyviä, jopa kymmeniä metrejä paksuja diabaasijuonia. Diabaasien mineraaliseurue koostuu pääosin amfiboleista, albiitti-oligoklaasista ja kloriitista. Rakenteeltaan juonet ovat subofiittisia tai massamaisia ja raekooltaan keski- tai karkearakeisia. Veikasenmaan felsinen porfyryri esiintyy diabaasijuonten yhteydessä suurina breksia kappaleina tai pienempinä fragmentteina mafisen vulkaniitin yhteydessä (Mikkola, 2006). Mafisia vulkaniitteja on tunkeutunut porfyryriin kapeina apofyyseinä, ja niitä on havaittu felsisessä porfyyrissä myös sulkeumina. Perusmineraaleja felsisessä porfyyrissä ovat hyvin hienorakeinen kvartsi, kloriitti sekä albiitti.

#### Mafiset juoniparvet

Vesmajärven muodostumaan rinnastettavalle Veikasenmaan muodostumalle ovat tyypillisiä myös tyynylaavojen yhteydessä esiintyvät emäksiset juonet sekä gabrot. Kohtisuoraan

tyynylaavojen kerroksellisuutta leikkaavia, muutamien metrien levyisiä mafisia juonikomplekseja tavataan Kiimarovassa. Rakenteeltaan juonikompleksit voidaan yhdistää alkavaan sheeted dike –kompleksin muodostukseen. Tutkimusalueella sijaitsevan Selkäsenvuoman alueella tavataan myös yhdensuuntaisten mafisten juonten parvia, jotka leikkaavat heterogeenistä gabroa. Tällaisten juonten on tulkittu olevan lähistöllä esiintyvien tyynylaavojen syöttökanavia (Lehtonen et al., 1998). Zirkonien U-Pb-ikä määritysten perusteella Veikasenmaan muodostuman mafiset vulkaniitit sekä juoniparvet ovat muodostuneet lähes yhtäaikaisissa magmaattisissa tapahtumissa Vesmajärven muodostumaan kuuluvien vulkaniittien kanssa (Rastas et al., 2001).

Vesmajärven muodostuman vulkaniitit kuuluvat Kittilän sviitin nuorimpiin mafisiin vulkaniitteihin (Lehtonen et al., 1998). Niille on saatu Sm-Nd-menetelmällä ikä  $1987 \pm 36$  miljoonaa vuotta (Hanski & Huhma, 2005). Kivien geokemian sekä Nd-istoppikoostumuksen perusteella Vesmajärven muodostuman synnyttäneellä magmalla ei ole ollut merkittävää tai ei ollenkaan kontaminaatiota vanhemman siallisen kuoren kanssa (Hanski & Huhma, 2005).

Merellisessä ympäristössä syntyneet Mg-tholeiittiset basaltit vastaavat geokemialliselta koostumukseltaan valtameren keskiselänteiden basaltteja (Hanski & Huhma, 2005). Koostumukseltaan Vesmajärven muodostuman basaltit ovat Kautoselän muodostuman basalttisia metavulkaniitteja primitiivisempiä ja edustavat laaja-alaisempaa differentiaatiota aina komatiittisista basalteista Fe- ja Mg-tholeiittisiin basaltteihin. Vesmajärven muodostuman vulkaniitit eroavat Kautoselän muodostumasta niiden korkeampien MgO-, Ni- sekä Cr-pitoisuuksien vuoksi (Taulukot 3 ja 4) sekä Mg#-lukujen suhteen; Vesmajärven muodostumassa Mg# on 0.72-0.43, kun vastaavasti Kautoselän muodostumassa noin 0.42 (Lehtonen et al., 1998).

**Taulukko 3.** Vesmajärven muodostuman kuuluvien basalttien keskipitoisuuksia ja tilastollisia tunnuslukuja Lehtosen et al. (1998) mukaan.

	Lukumäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	Vesmajärvi/ Kautoselkä
SiO <sub>2</sub> %	113	50,51	1,83	46,01	56,63	0,99
TiO <sub>2</sub> %	113	1,38	0,57	0,55	2,55	0,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	113	14,07	0,96	12	17,03	0,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot %	113	14,53	2,08	9,44	19,08	0,97
MnO %	113	0,21	0,03	0,11	0,28	1,11
MgO %	113	7,29	1,21	4,87	10,49	1,28
CaO %	113	8,05	2,1	0,85	13,34	1,22
Na <sub>2</sub> O %	113	3,21	0,93	0	4,8	0,82
K <sub>2</sub> O %	113	0,42	0,37	0,01	1,47	0,39
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	113	0,13	0,08	0,05	0,36	0,46
Cr ppm	113	174	101	35	421	1,27
Ni ppm	113	80	46	30	240	1,51
Co ppm	113	49	11	4	91	1,07
Sc ppm	113	55	13	38	84	1,90
V ppm	113	353	67	260	530	1,07
Zr ppm	113	93	50	30	210	0,45
La ppm	113	8,1	5,2	0,8	21,2	0,30
Sm ppm	77	3,04	1,53	1,32	5,96	0,42
Ba ppm	113	118	97	28	593	0,33
Rb ppm	113	109	43	10	240	0,52
Sr ppm	113	13	8	4	41	0,48
Ta ppm	113	0,61	0,39	0,15	2,4	0,50
Th ppm	113	0,94	0,59	0,23	2,42	0,24
U ppm	113	0,41	0,27	0,08	2,4	0,35
Cs ppm	113	0,87	0,59	0,25	3,09	0,64
LaN/SmN	77	1,63	0,26	0,28	2,51	0,68
Cu ppm	99	92	93	0	570	0,44
S ppm	99	697	1273	0	570	1,36

**Taulukko 4.** Vesmajärven muodostumaan kuuluvien basalttisten komatiittien keskikoostumuksia ja tilastollisia tunnuslukuja Lehtosen et al. (1998) mukaan.

	Lukumäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	Suhdeluku Vesmajärven basaltteihin
SiO <sub>2</sub> %	33	48,54	1,45	46,18	53,19	0,96
TiO <sub>2</sub> %	33	1,15	0,13	0,51	2,02	0,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	33	15,23	1,44	9,4	17,23	1,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot %	33	13,25	0,94	10,7	18,73	0,91
MnO %	33	0,2	0,02	0,17	0,25	0,95
MgO %	33	11,98	0,88	11,08	15,2	1,64
CaO %	33	5,39	1,84	3,19	10,73	0,67
Na <sub>2</sub> O %	33	3,28	0,4	0	3,94	1,02
K <sub>2</sub> O %	33	0,88	0,4	0,1	2,36	2,10
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	33	0,08	0,02	0,03	0,18	0,62
Cr ppm	33	356	278	150	952	2,05
Ni ppm	33	171	74	35	518	2,14
Co ppm	33	55	7	40	76	1,12
Sc ppm	33	41	4	35	50	0,75
V ppm	33	289	20	240	370	0,82
Zr ppm	33	67	14	30	120	0,72
La ppm	33	6,9	2	3,1	10,3	0,85
Sm ppm	33	2,55	0,44	1,23	3,83	0,84
Ba ppm	33	372	269	26	715	3,15
Rb ppm	33	11	8	5	31	0,10
Sr ppm	33	49	25	20	90	3,77
Ta ppm	33	0,39	0,15	0,11	0,69	0,64
Th ppm	33	0,73	0,28	0,18	1,25	0,78
U ppm	33	0,27	0,14	0,08	0,58	0,66
Cs ppm	33	0,7	0,55	0,4	2,49	0,80
CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33	0,37	0,16	0,2	1,14	-
La <sub>N</sub> /Sm <sub>N</sub>	33	1,7	0,28	1,22	2,11	1,04
Cu ppm	33	92	88	10	370	1,00
S ppm	33	532	778	0	3040	0,76



Komatiittiset basaltit ovat Vesmajärven muodostuman primitiivisimpiä kivilajeja, sillä niiden MgO-pitoisuudet ovat korkeimmillaan noin 15 p.-% (Taulukko 4). Basalttiset komatiitit eroavat Vesmajärven muista basalttisista vulkaniiteista niiden alhaisempien REE-pitoisuuksina, ja niiden primitiivisyys ilmenee loivasti laskevana (heikosti rikastunut LREE) tai jopa tasaisena REE-jakaumana (Kuva 6). Komatiittiset basaltit eroavat selkeästi alueen muista kivilajeista myös niiden korkeiden Cr- ja Ni-pitoisuuksien vuoksi. Yhdessä Vesmajärven muodostuman tholeiittisten basalttien kanssa basalttiset komatiitit muodostavat yhtenäisen, LREE-alkuaineista rikastuvan vulkaniittiseurannon. LREE:n fraktioituminen kasvaa lantanidien kokonaispitoisuuden kasvaessa basalttisista komatiiteista tholeiittisiin basalteihin, mikä viittaa niiden kehittyneen samasta kantamagmasta (Lehtonen et al., 1998).

Muodostuman basalttiset komatiitit eroavat kemiallisesti selkeästi Savukosken ryhmän basalttisista komatiiteista. Selkeimmät erot ovat Vesmajärven basalttisten komatiittien korkeampi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuus, REE-taso,  $\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ -suhde sekä matalampi CaO-pitoisuus (Lehtonen et al., 1998).

**Taulukko 5.** Könkään muodostumaan kuuluvien vulkaniittien (63-36-VJK-81, 306-17-LVP-86, 306-21-LVP-86, 306-27-LVP-86, 306-40-LVP-86 ja 306-44-LVP-86) keskipitoisuuksia ja tilastollisia tunnuslukuja. Muodostumien alkuainesuhdevertailussa käytetyt Vesmajärven basalttien keskiarvot Lehtosen et al. (1998) mukaan.

	Lukumäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	Könkäs/ Vesmajärven basaltit
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	6	50,09	4,89	41,29	56,80	0,99
<b>TiO<sub>2</sub> %</b>	6	2,90	0,20	2,65	3,26	2,10
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	6	15,31	0,97	13,55	16,86	1,09
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>tot %</b>	6	16,70	4,13	11,38	23,89	1,15
<b>MnO %</b>	6	0,19	0,08	0,11	0,32	0,89
<b>MgO %</b>	6	3,78	1,37	2,37	6,09	0,52
<b>CaO %</b>	6	5,70	1,54	3,63	7,31	0,71
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	6	3,15	1,61	0,31	4,58	0,98
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	6	1,47	0,82	0,65	2,68	3,49

	Lukumäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	Köngäs/ Vesmajärven basaltit
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	6	0,72	0,13	0,47	0,90	5,51
Cr ppm	6	56,67	23,36	38,50	104,00	0,33
Ni ppm	6	45,05	7,89	28,30	53,20	0,56
Co ppm	6	46,48	13,28	32,20	72,80	0,95
Sc ppm	6	48,70	5,01	41,80	57,40	0,89
V ppm	6	233,33	65,49	110,00	320,00	0,66
Zr ppm	6	338,33	41,40	280,00	390,00	3,64
Ba ppm	6	545,33	149,22	345,00	695,00	4,62
Cs ppm	6	0,92	0,20	0,78	1,36	1,06
Rb ppm	6	24,45	11,62	12,30	47,30	0,22
Sr ppm	6	106,67	31,45	60,00	160,00	8,21
Ta ppm	6	4,81	0,44	4,10	5,41	7,88
U ppm	6	2,75	0,61	1,85	3,88	6,71
Th ppm	6	6,55	0,60	5,59	7,29	6,97
La ppm	6	41,53	2,20	39,00	45,00	5,13
Ce ppm	5	90,40	7,96	79,00	101,00	-
Nd ppm	5	52,60	6,71	43,00	61,00	-
Sm ppm	6	11,55	2,05	9,00	15,10	3,80
Eu ppm	5	3,52	0,45	2,76	4,10	-
Tb ppm	5	1,86	0,28	1,39	2,20	-
Yb ppm	5	6,30	0,90	4,80	7,30	-
Lu ppm	5	0,62	0,07	0,50	0,71	-
Cu ppm	6	60,00	28,28	30,00	120,00	0,65
S ppm	6	510,00	761,34	0,00	2170,00	0,73

Vesmajärven muodostuman länsipuolella sijaitsevan Könkään muodostuman kivilajit edustavat suhteellisen kehittyneitä basalttisia tyynylaavoja, jotka eroavat muista tutkimusalueen mafisista vulkaniiteista selkeästi esimerkiksi korkeampien TiO<sub>2</sub>-, Ta- ja Th-pitoisuuksien perusteella (Taulukko 5) (Lehtonen et al., 1998). Muodostuman vulkaniiteilla on Vesmajärven tai Kautoselän vulkaniitteihin nähden selkeästi jyrkempi

kondriittinormalisoitu REE-jakauma. Kemialliselta koostumukseltaan Kōnkään muodostuman vulkaniitit vastaavat vulkaanisten saarten basaltteja (OIB) tai laatan sisäisiä basaltteja (Hanski & Huhma, 2005).

### *3.1.3 Porkosen muodostuma*

Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeellä on löydetty yli 100 rautamuodostumaa (BIF), jotka Itä-Lapissa sijaitsevaa Jauratsiselän muodostumaa lukuun ottamatta esiintyvät pääasiassa Kittilän sviitin alueella (Korkalo, 2006). Kittilän vihreäkivijakson yhteydessä esiintyvät, geofysikaalisesti selkeästi alueen vulkaniiteista poikkeavat sähkömagneettiset johteet kuuluvat Porkosen muodostumaan (Wyche et al., 2015).

Porkosen muodostuman (Kuva 5) oksidi- ja karbonaattifasiuksen rautamuodostumat sekä rauta- ja sulfidipitoiset liuskeet kerrostuivat Kittilän vulkaniittikompleksin yhteydessä syntyneeseen, vajonneeseen sedimenttialtaaseen (Paakkola & Gehör, 1988). Lapin vulkaniittiprojektin tutkimusten mukaan Porkosen-Pahtavaaran alueella rautamuodostuma sijoittuu stratigrafisesti Kautoselän ja Vesmajärven muodostumien väliin. Vastaavanlaiset havainnot myös Porkosen-Petäjäselän-Puolalaen sekä Karjakkolehdon-Riesiövaaran jaksossa viittaavat rautamuodostuman suhteellisen samanaikaiseen saostumiseen Kittilän sviitin eri osissa (Lehtonen et al., 1998).

Oksidifasiuksen rautamuodostumat ovat Porkosen muodostumassa vallitsevia. Niiden lisäksi tavataan manganosideriittejä sisältäviä silikaatti-karbonaatti- ja sulfidifasiuksen saostumia (Paakkola & Gehör, 1988). Muodostumalle tyypilliset kivilajiyksiköt koostuvat usein hyvin hienorakeisista grafiittipitoisista tuffeista ja tuffiiteista, serteistä tai mafisista laavoista (Lehtonen et al., 1998).

### 3.1.4 Pyhäjärven muodostuma

Kittilän sviittiin kuuluvista neljästä muodostumasta nuorin on Pyhäjärven sedimenttinen muodostuma (Kuva 5), joka on paljastuneena noin 300 metrin leveydellä Pyhäjärven ja Ulvomajärven välissä karttalehden 2744 03C alueella. Sen kvartsi-maasälpäliuskeista sekä hienorakeisista, harmaista kvartsirikkaista kiilleliuskeista koostuvat kivilajit katsotaan kerrostuneen Vesmajärven ja Kautoselän vulkaniittiyksiköiden päälle (Lehtonen et al., 1998).

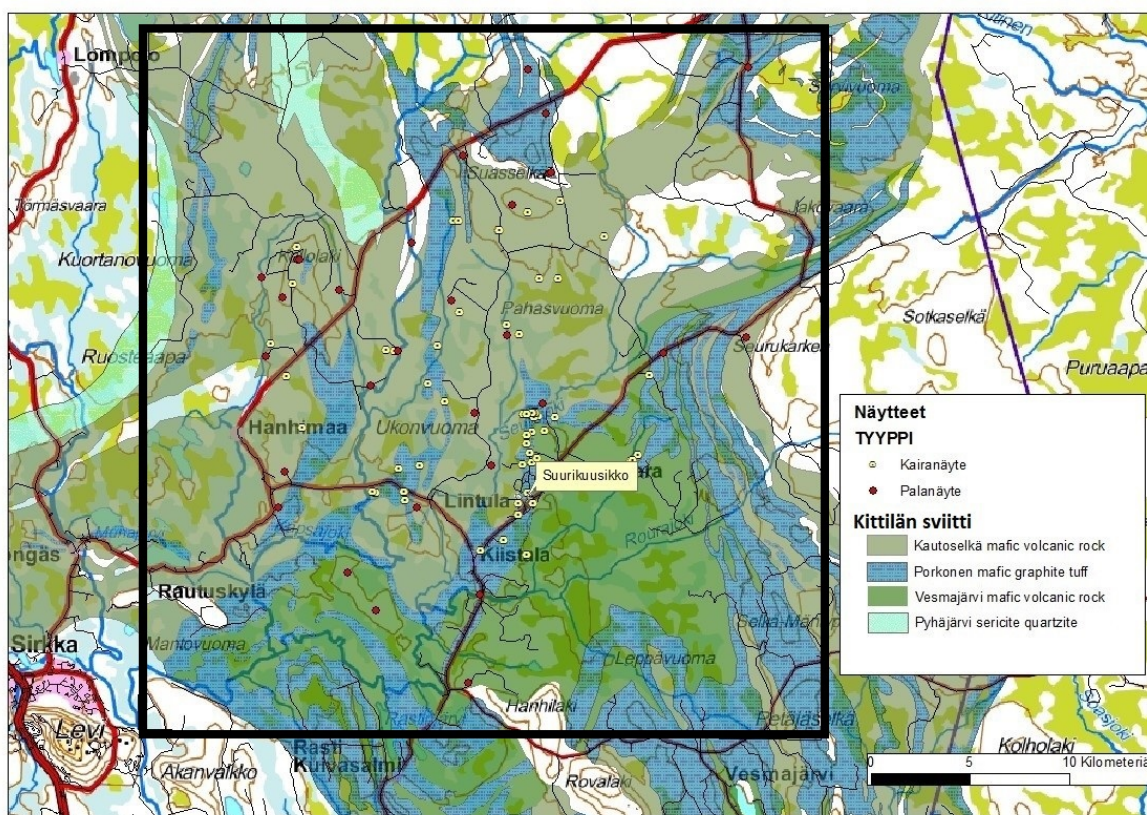
## 4. NÄYTTEENOTTO JA ANALYYSIMENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetyn näyteaineiston kokoaminen tapahtui kirjoittajan toimesta lokajoulukuun välisenä aikana vuonna 2016. Näytepisteet on valittu Agnico Eagle Finland Oy:n, Dragon Mining Oy:n, Geologian tutkimuskeskuksen tai Outokumpu Oy:n tutkimusainestosta. Tutkimukselle sopivat kairasydännäytteet valittiin aineistosta, joka sisältää kairasydämiä Kittilän alueelta vuodesta 1981 aina vuoden 2016 loppuun asti. Jokaisesta näytteestä on sahattu analyysinäyte ja 49:sta näytteestä on tehty kiillotettu ohuthie kivilajien petrografista kuvausta varten.

### 4.1. Kalliopaljastumat ja tutkimusojat

Palanäytteet otettiin selkeistä kalliopaljastumista lukuun ottamatta muutamaa poikkeusta, joissa näyte otettiin rapautuneesta kalliosta. Näytteenottopaikkoina käytettiin myös tutkimusojia.

Palanäyte otettiin mahdollisimman rapautumattomasta sekä homogeenisesta kallionkohdasta geologivasaralla. Vasaranäytteet olivat niin suuria, että niistä pystyi kivisahalla sahaaman tarkoitukseen sopivan, homogeenisen sekä mahdollisimman kiisuttoman näytteen. Kaikkiaan näytteitä kerättiin 128 kappaletta, joista palanäytteitä oli 30. Näytteet jakautuivat tasaisesti tutkimusalueen eri osiin, ja niillä saatiin kokonaisvaltainen otos alueen kalliopaljastumien kivilajeista (Kuva 7).



**Kuva 7.** Opinnäytetyössä käytettyjen kaira- sekä palanäytteiden sijainti suhteessa Kittilä sviitin muodostumiin (Kallioperä: GTK:n Bedrock of Finland-DigiKp, 2016 -kartta). Tutkimusalue rajattu mustalla suorakulmiolla.

## 4.2. Syväkairausaineisto

Tutkimuksessa käytettyjä kairasydännäytteitä oli 99 kappaletta (Kuva 7) ja näyteaineisto on Agnico Eagle Finland Oy:n omaisuutta. Kairasydännäytteiden avulla pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuolinen kuva alueella vallitsevista mafisista ja ultramafisista laava- sekä juonikivistä. Kairanäytteiden valitsemisessa käytettiin myös Agnico Eagle Finland Oy:n ja Geologian tutkimuskeskuksen tuottamaa aeromagneettista sekä aerosähkömagneettista aineistoa, joiden avulla näytteet voitiin hajauttaa mahdollisten eri kivilajiyksiköiden alueille.

## 4.3. Näytteiden esikäsittely

Tutkimuksessa käytettyjen näytteiden kemialliset analyysit sekä niiden toteuttamiseen vaaditut esikäsittelytoimenpiteet toteutettiin Labtium Oy:n laboratoriossa Sodankylässä. Näytteiden esikäsittely koostuu neljästä eri toimenpiteestä: kuivauksesta, murskauksesta, murskeen jakamisesta sekä jauhamisesta. Näytteiden esikäsittelytoimenpiteet ovat Labtium Oy:n (2017) tuote-esitteen mukaan seuraavat:

Kaikki pala- sekä kairasydännäytteet kuivataan 70-asteisessa kiertoilmauunissa, jonka jälkeen ne murskataan hienoksi (nimellisesti yli 70 % näytteestä on alle 2 mm:n fraktiossa) mangaaniteräksellä vahvistetulla leukamurskaimella. Murskeesta erotetaan kourujakajalla 100-150 gramman näytteet eri analyysijä varten. Petrologista XRF-analyysiä varten eroteltu, maksimissaan 150 gramman painoinen näyte hienonnetaan edelleen pulverimaiseksi (massan raekoko > 90 % <100 µm.) rengasmyllyssä käytettävässä hiiliteräskulhossa.

Mahdollisimman tarkan tuloksen saavuttamiseksi sekä kontaminaation eliminoimiseksi pulverisointi vaiheessa käytettävät hiiliteräskulhot puhdistetaan jauhamalla kvartsia. Sekä pulverisointikulhot että leukamurskain puhdistetaan jokaisen näytteen käsittelyn jälkeen paineilmalla ja harjoilla. Huolellisesta puhdistuksesta huolimatta pulverisointivaiheessa tapahtuu aina pientä kontaminaatiota, joka voi vaihdella rengasmyllyssä käytettävän pulverisointikulhon materiaalin, näytteen kovuuden mukaan sekä pulverisointiin käytettävän



ajan mukaan. Esikäsittelyssä käytetty hiiliteräskulho voi aiheuttaa näytteeseen alle 0.2 painoprosentin Fe-kontaminaation, joka tulee huomioida tulosten käsittelyvaiheessa.

#### 4.4. Analyysimenetelmät

Edellisessä kappaleessa mainittujen esikäsittelytoimenpiteiden jälkeen kaikille näytteille toteutettiin Labtium Oy:n toimesta kokokivianalyysi. Analyysimenetelmät ovat Labtium Oy:n (2013, 2014) tuote-esiteiden mukaan seuraavat: Analyysi tehtiin 20 gramman painoisesta jauhepuristenapista röntgenfluoresenssispektroskopisella menetelmällä (XRF). Labtiumin analyysikoodilla 175X ja 176X tehdyn XRF-kokokivianalyysin lisäksi karbonaateissa ja ei-karbonaateissa olevan hiilen (C-tot) pitoisuuden määrittäminen suoritettiin C-analyysaattorilla, jotta kaikkien alkuainekomponenttien yhteenlaskettu painoprosenttiosuus olisi mahdollisimman lähellä todellista koostumusta.

XRF-analyysitulosten perusteella erikseen valituille pala- ja kairanäytteille tehtiin lisäksi tarkempi hivenalkuaineiden määrittäminen (Labtiumin analyysikoodi 306PM). Analysoitava kiviaines liuotettiin neljällä hapolla ( $\text{HF-HClO}_4\text{-HCl-HNO}_3$ ) liuokseksi, joka tämän jälkeen kuivatettiin kiinteäksi. Lopuksi kiinteä jäännösainelike liuotettiin typpihapolla liuokseksi. Saatu liuos laimennettiin vedellä analyysi-instrumenteille sopivaksi. ICP-MS-menetelmällä (induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometria) ja ICP-OES-menetelmällä (induktiivisesti kytketty plasma-optinen emissiospektrometria) saatiin tutkimukseen tarpeellisten harvinaisten maametallien ja hivenalkuaineiden pitoisuudet määritettyä jopa 0.01 ppm:n havaitsemisrajalla (Taulukko 6).

Tutkielman analyysiaineiston käsittelyssä ja geokemiallisten luokitteludiagrammien luomisessa on hyödynnetty geokemiallisen aineiston käsittelyyn tarkoitettua sovellusta Geochemical Data Toolkit (GCDkit). Grafiikan tuottamiseen ja tilastolliseen laskentaan pohjautuvalla R-ohjelmointikielellä luotu GCDkit-sovellus käy erityisen hyvin magmakivien hiven- ja pääalkuaineisiin perustuvien geokemiallisten piirteiden mallintamiseen (Janousek et al., 2006).

**Taulukko 6.** ICP-MS-menetelmällä (Labtiumin analyysikoodi 306M) ja ICP-OES-menetelmällä (Labtiumin analyysikoodi 306P) määritetyt alkuaineet ja niiden määrittäysrajat.

Menetelmä	Alkuaine	Havaitsemisraja mg/kg	Menetelmä	Alkuaine	Havaitsemisraja mg/kg
ICP-MS	Ag	0.2	ICP-OES	Ca	50
ICP-MS	As	2	ICP-OES	Co	2
ICP-MS	Cd	0.1	ICP-OES	Cr	2
ICP-MS	Ce	0.2	ICP-OES	Cu	2
ICP-MS	Dy	0.01	ICP-OES	Fe	50
ICP-MS	Er	0.01	ICP-OES	K	100
ICP-MS	Eu	0.01	ICP-OES	Li	2
ICP-MS	Gd	0.01	ICP-OES	Mg	50
ICP-MS	Ho	0.01	ICP-OES	Mn	2
ICP-MS	La	0.5	ICP-OES	Mo	2
ICP-MS	Lu	0.01	ICP-OES	Na	50
ICP-MS	Nd	0.1	ICP-OES	Ni	2
ICP-MS	Pr	0.05	ICP-OES	P	50
ICP-MS	Rb	2	ICP-OES	Pb	10
ICP-MS	Sb	0.2	ICP-OES	S	20
ICP-MS	Sm	0.01	ICP-OES	Sc	1
ICP-MS	Tb	0.01	ICP-OES	Sr	1
ICP-MS	Tm	0.01	ICP-OES	Ti	2
ICP-MS	Yb	0.01	ICP-OES	V	2
ICP-OES	Al	50	ICP-OES	Y	1
ICP-OES	B	10	ICP-OES	Zn	2
ICP-OES	Ba	2	ICP-OES	Zr	2
ICP-OES	Be	0.5			

Edellä kuvattujen geokemiallisten analyysimenetelmien lisäksi kahdessa ohuhieessä esiintyville kromiiteille toteutettiin analyysi EDS-laitteella varustetulla

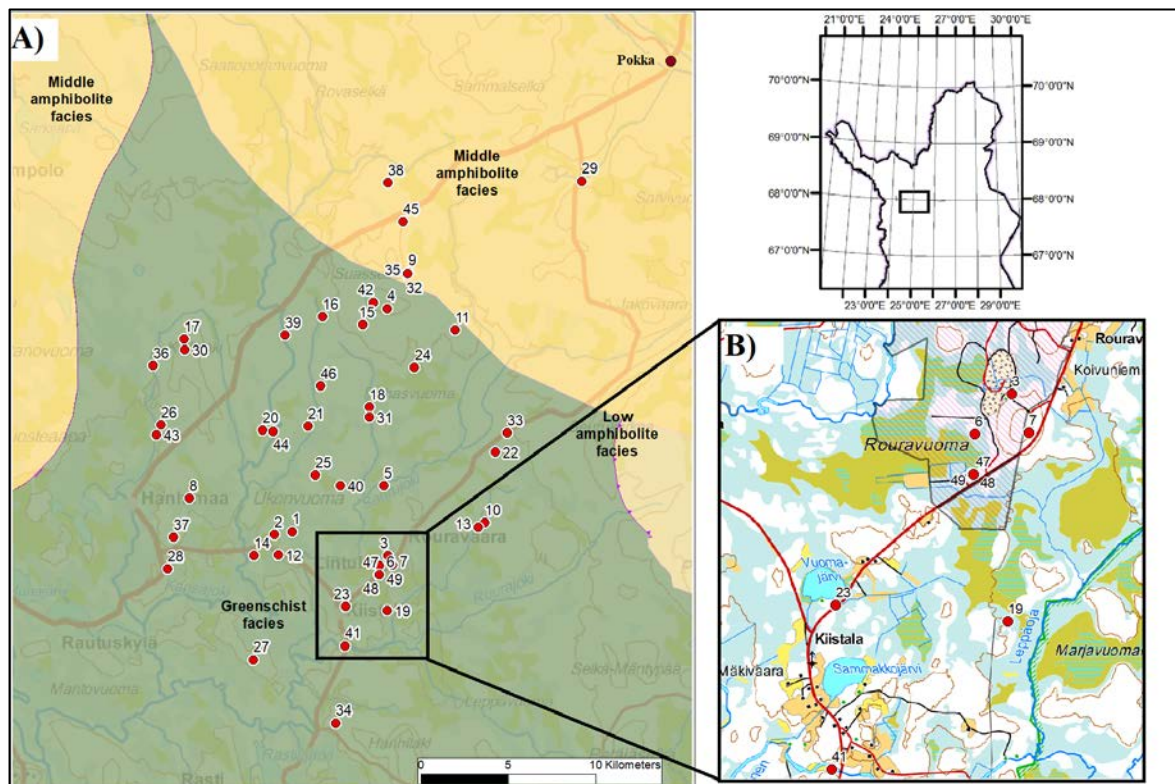


röntgenmikroanalysaattorilla Jeol JXA-8200 (EPMA) Oulun yliopiston Mikroskopian ja nanoteknologian keskuksessa. Kromiittianalyysissä määritettiin komponentit MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, CoO, ZnO ja NiO. Analyysi toteutettiin käyttäen 15 kV:n kiihdytysjännitettä ja 15 nA:n virtaa. Elektronisuihkun halkaisija oli 10 mikrometriä.

## **5. TULOKSET**

### **5.1. Kivilajikuvaus**

Petrografisen tutkimuksen tarkoituksena oli saada alueellisesti kattava käsitys tutkimusalueen vallitsevista kivilajeista. Näytepisteet hajautuvat noin 20 kilometrin säteelle Kittilän kaivoksesta (Suurikuusikko). Kuvassa 8 ja Taulukossa 7 listattujen näytteiden yksityiskohtainen petrografinen kuvaus on esitetty Liitteessä 1.



**Kuva 8.** A) Tutkimuksessa tarkasteltujen näytteiden sijoittuminen Kittilän vihreäkivivyöhykkeen metamorfoosiastetta kuvaavalla kartalla (GTK:n Metamorfoosi 1:1 000 000-digitaalinen kartta-aineisto, 2016). B) Tarkennettu kartta Suurikuusikon kaivospiiriin ja sen lähialueille sijoittuvista kairasydän- ja palanäytteistä. Kuvassa numeroitujen ohuthieiden näyttenumerot esitetty Taulukossa 7.

Vallitseva kivilaji tutkimusalueella on hienorakeinen ja paikoin breksioitunut, tyynyrakenteinen tai massiivinen tholeiittinen basaltti (Taulukko 7). Laavojen primäärit mineraalit ovat lähes poikkeuksetta muuttuneet sekundäärisiksi mineraaleiksi, kuten amfiboileiksi, kloriitiksi, talkiksi tai karbonaateiksi. Suurikuusikon alueelta (Kittilän kaivos) pohjoiseen päin liikuttaessa metamorfoosiaste kasvaa ohuthietutkimusten perusteella selkeästi. Metamorfoosiaste ilmenee laavoissa suurentuneena räckokona sekä lisääntyvänä amfibolimineraalien määränä vihreäliuskefasieksen, heikosti metamorfoituneista basalteista (esimerkiksi näyte FIEXC102915 kuvan 8 pienen kartan eteläreunassa numerolla 41)

amfiboliittifasiuksen kiviin (esimerkiksi amfiboliittinäyte FIEXC102896 lähellä Pokan kylää Kuvassa 8 numerolla 29).

**Taulukko 7.** Kivilajien välistä vaihtelua tutkimusalueella ohuthietutkimuksen perusteella. Näytteiden kivilajiluokitus on pidetty hyvin yksinkertaisena ja hienorakeisia laavoja kutsutaan yhteisesti basalteiksi.

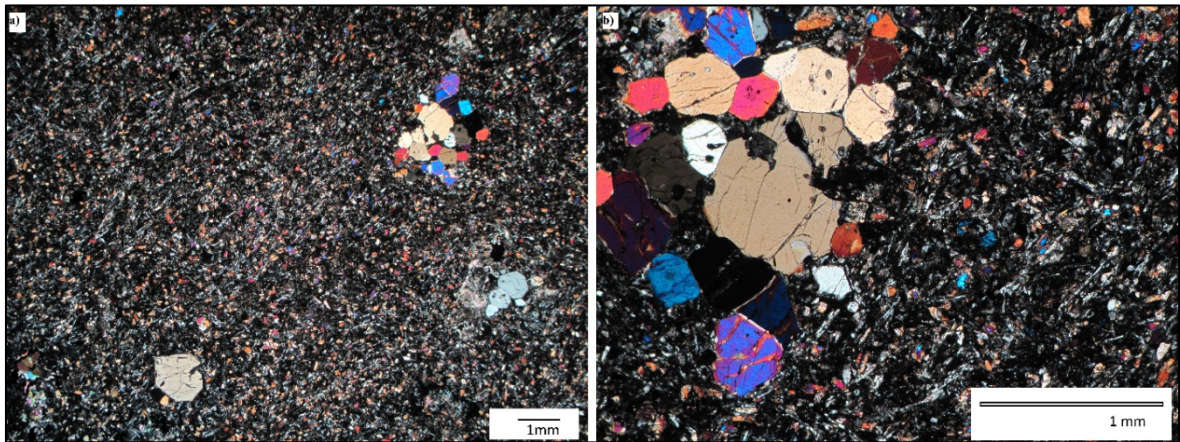
Ohuthie	Näyttenumero	Kivilaji	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM35
1	FIEXC102851	Basaltti	7534554	427208	49
2	FIEXC102853	Basaltti	7534398	426177	181
3	FIEXC102854	Basaltti	7533181	432699	-568
4	FIEXC102855	Basaltti	7547314	432663	322
5	FIEXC102856	Basaltti	7537169	432451	80
6	FIEXC102860	Basaltti	7532627	432195	18
7	FIEXC102861	Basaltti	7532640	432933	208
8	FIEXC102862	Basaltti	7536460	421317	91
9	FIEXC102863	Basaltti	7549361	433842	267
10	FIEXC102866	Basaltti	7535061	438239	-97
11	FIEXC102867	Basaltti	7546095	436543	151
12	FIEXC102868	Basaltti	7533219	426415	56
13	FIEXC102869	Basaltti	7534787	437875	-127
14	FIEXC102873	Basaltti	7533164	425012	112
15	FIEXC102875	Basaltti	7546386	431259	11
16	FIEXC102876	Basaltti/pyroklastinen vulkaniitti	7546852	428948	-47
17	FIEXC102877	Basaltti	7545549	421024	162
18	FIEXC102883	Basaltti	7541661	431623	164
19	FIEXC102885	Basaltti	7530051	432649	64
20	FIEXC102886	Basaltti	7540358	425522	85
21	FIEXC102887	Basaltti	7540564	428103	217
22	FIEXC102888	Mg-rikas basaltti	7539101	438835	105
23	FIEXC102889	Mantelirakenteinen basaltti	7530278	430285	-189
24	FIEXC102890	Basaltti	7543942	434214	131
25	FIEXC102892	Basaltti	7537780	428516	81
26	FIEXC102893	Basaltti	7540664	419698	-162
27	FIEXC102894	Basaltti	7527236	424998	220
28	FIEXC102895	Basaltti	7532412	420072	205
29	FIEXC102896	Amfiboliitti	7554595	443763	291
30	FIEXC102897	Muuttunut mafinen vulkaniitti	7544945	421063	308

Ohuthie	Näyttenumero	Kivilaji	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM35
31	FIEXC102898	Basaltti	7541099	431613	231
32	FIEXC102899	Metagabro	7549263	433751	290
33	FIEXC102902	Basaltti	7540206	439501	260
34	FIEXC102904	Basaltti	7523608	429689	231
35	FIEXC102908	Basaltti	7549310	433818	287
36	FIEXC102909	Basaltti	7544043	419257	210
37	FIEXC102910	Basaltti	7534238	420421	208
38	FIEXC102911	Basaltti	7554495	432695	325
39	FIEXC102913	Muuttunut basaltti	7545774	426804	222
40	FIEXC102914	Basaltti	7537179	429959	234
41	FIEXC102915	Gabro/gabroinen basaltti	7528025	430232	203
42	FIEXC102916	Basaltti	7547648	431873	336
43	FIEXC102917	Basaltti	7540070	419443	183
44	FIEXC102918	Basaltti	7540295	426135	213
45	FIEXC102921	Metagabro	7552269	433556	329
46	FIEXC102922	Basaltti	7542880	428841	244
47	FIKIO112844	Gabro/gabroinen basaltti	7532085	432160	176
48	FIKIO112847	Oliiviini hajarakeinen basaltti	7532081	432167	155
49	FIKIO112849	Oliiviini ortokumulaatti	7532076	432176	132

Tutkimusalueella vallitsevana kivilajina esiintyvän tholeiittisen basaltin lisäksi esiintyy myös korkeamman Mg-pitoisuuden omaavia, komatiittisia basaltteja sekä selkeästi ultramafinen oliiviinikumulaatti. Edellä mainittujen poikkeusten lisäksi alueella on lähes karkearakeisia metagabroja (Taulukko 7). Edellä mainitut kivilajit on kuvattu tiivistetysti ryhmittäin alla.

### 5.1.1 Massiiviset ja tyynyraakenteiset basalttiset laavat

Alueen tholeiittisten tyynyraakenteisten ja massiivisten laavojen perusmassan mineraaliseurue on tyypillisesti mikroliittinen plagioklaasi ja tremoliitti-aktinoliittisarjan amfiboli, epidootti, kloriitti sekä karbonaatti  $\pm$  serpentiini. Mg-rikkaissa tholeiiteissa serpentiiniryhmän mineraalit ja talkki ovat huomattavasti tavallisempia kuin Fe-tholeiittisissa basalteissa. Mineraaliasultaan tyyny-laavat ovat pilotaksisia ja joskus mantelirakenteisia tai pyrokseeniporfyyrisiä (Kuva 9).

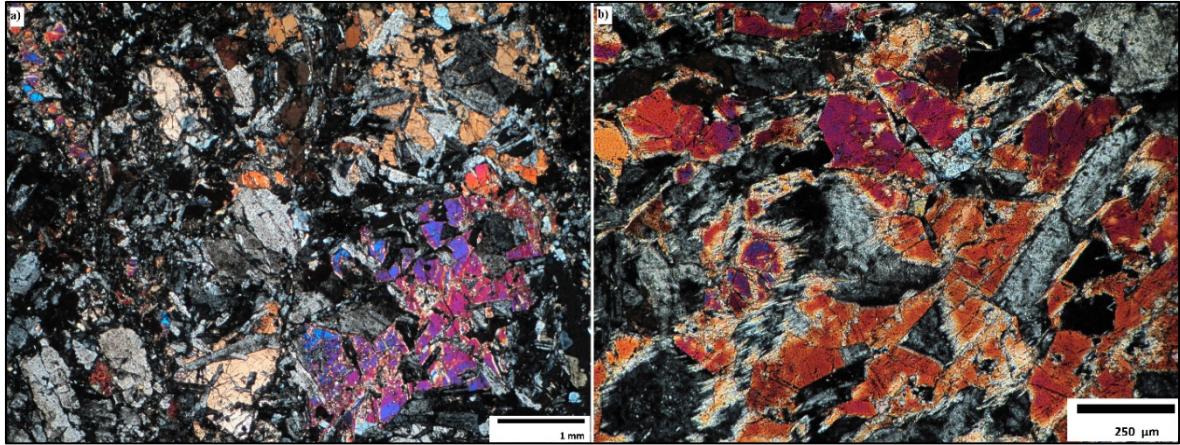


**Kuva 9.** Harvinaisen hyvin säilynyt tholeiittinen basaltti FIEXC102860. a) Näytteen tekstuuri kuvattuna ristinikoleilla. b) Hyvin säilyneitä klinopyrokseenikiteitä kuvattu ristinikoleilla.

Massiiviset laavat ovat useimmiten pilotaksisia, trakyyttisiä (juoksurakenteisia) ja vain harvoin subofiittisia. Massiivisten laavojen yhteydessä voi esiintyä myös hyvin hienorakeisia, ohuita ja mineraaliasultaan suuntautuneita vulkaanis-sedimenttisiä välikerroksia. Perusmassassa esiintyvät hajarakeet ovat useimmiten voimakkaasti saussuriittiutunutta plagioklaasia (tai albiittia) ja klinopyrokseeneja. Laavoissa esiintyvät mantelit ovat karbonaattitäytteisiä ja useimmiten asultaan venyneitä. Basalttien primääri mineraalikoostumus on usein korvautunut täysin, mutta myös vähäisemmin muuttuneita basaltteja on löytynyt (kuten Kuva 9). Tyypillisesti primäärit mineraalit, kuten

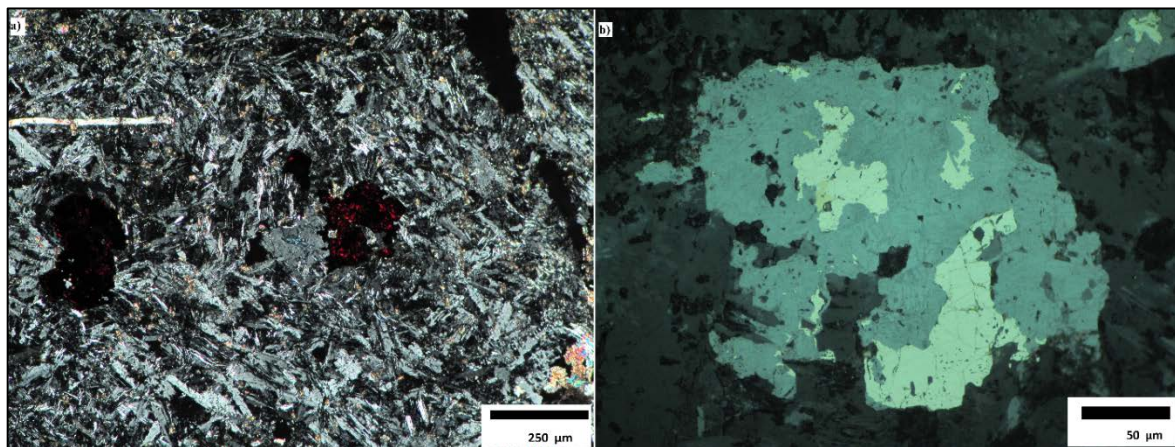


klinopyrokseenit, ovat korvautuneet täysin sälömaisillä tremoliitti-aktinoliittisarjan amfibolimineraaleilla (Kuva 10). Basalttien perusmassassa voi olla säilyneenä amfibolilla korvautuneita pyrokseenipseudomuotoja.



**Kuva 10.** Vähäisesti muuttunut subofiittinen ja gabromainen basaltti (näyte FIEXC102915). a) Heikosti amfiboliutunut plagioklaasi-pyrokseenivaltainen perusmassa (kuvattu ristiniikoleilla). b) Yksityiskohta kuvan (a) amfiboliutuneista klinopyrokseeneista.

Yleisesti aksessorisina mineraaleina esiintyvät muuttuneet Ti- ja Fe-oksidirakeet (leukokseeni), jotka ovat asultaan useimmiten skelettimaisiä. Vähäisinä esiintyvät opaakit mineraalit ovat tyypillisesti rikkikiisua, magneettikiisua, hematiitti-magnetiittia, kuparikiisua sekä satunnaisesti magneettikiisussa sulkeumina esiintyvää pentlandiittia. Opaakit mineraalit esiintyvät lähes poikkeuksetta erittäin hienorakeisena ja harvana pirotteenä, raontäytteenä tai karbonaattijuonten yhteydessä.



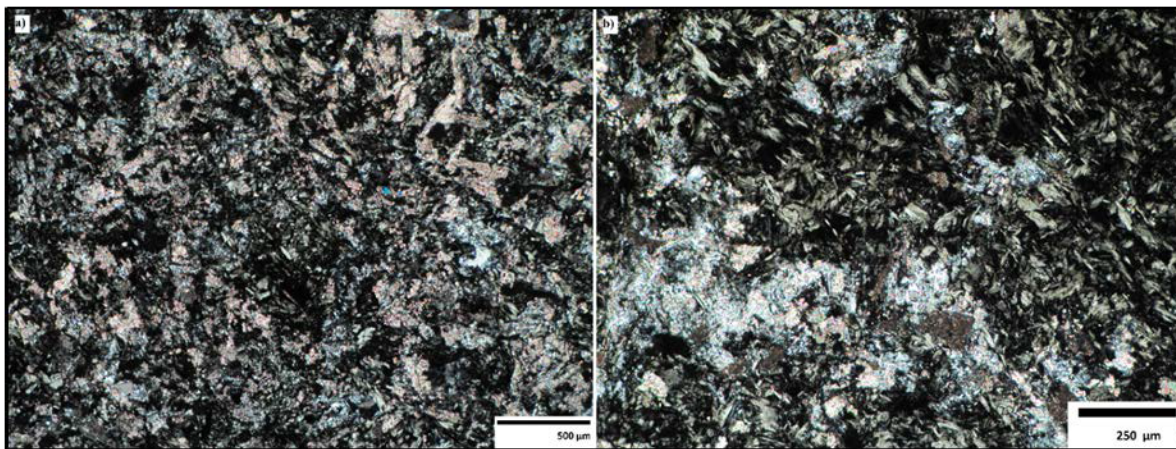
**Kuva 11.** a) Mg-tholeiittisessa tyynylaavassa tumman punertavina erottuvia rikki- ja kuparikiisua sisältäviä magnetiitti-hematiittirakeita. kuvattuna ristinkoleilla. Näyte FIEXC102917. b) Lähikuva magnetiitti-hematiittirakeesta heijastavalla valolla kuvattuna.

Rikki- ja kuparikiisua sisältäviä magnetiitti-hematiittirakeita (Kuva 11) ja jopa nyrkin kokoisia jaspisfragmentteja on tavattu tyynylaavojen yhteydessä, erityisesti Hanhimaalla Kiimakuusikon ja Kiimalaen länsipuolisella alueella sekä Kiimavaaran louhoksella Lintulaan johtavan asfalttitien länsipään pohjoispuolella.

### 5.1.2 Komatiittiset basaltit ja ultraemäksiset kumulaatit

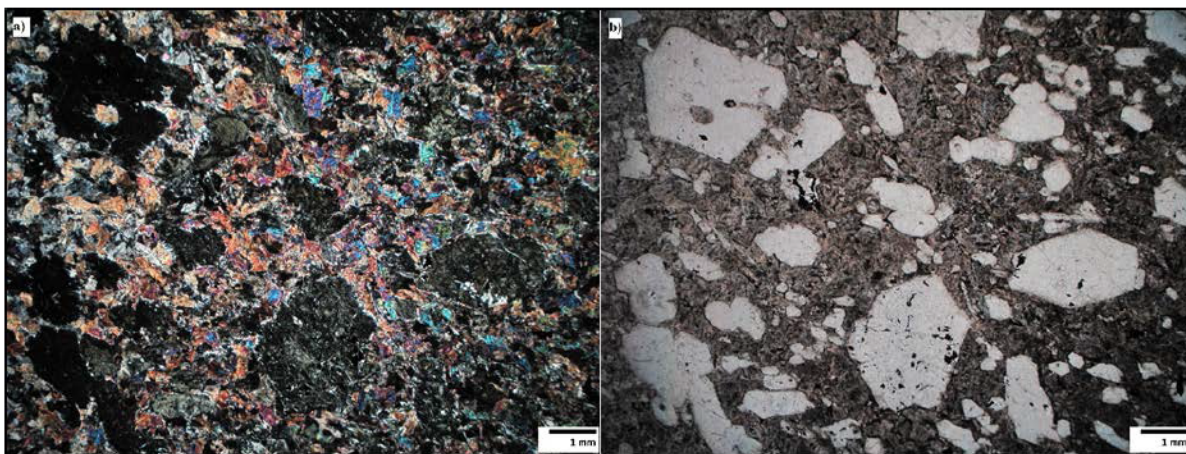
Kivien magnesiumpitoisuuden mukaan yksi näyte vastaa koostumukseltaan komatiittista basalttia (MgO-pitoisuus 13,7 p.-%) ja kaksi näytettä komatiittia (näytteen FIKIO112847 MgO-pitoisuus 18,7 p.-% ja näyte FIKIO112849 29,1 p.-%). Komatiittinen basaltti (FIEXC102888, Kuva 12) on asultaan lähes kokonaan muuttunut. Siinä suuntautumattoman perusmassan mineraalikoostumuksen muodostavat hyvin hienorakeinen serpentiini, karbonaatti, talkki, albiitti sekä vähäinen tremoliitti.





**Kuva 12.** Komatiittinen basaltti FIEXC102888. a) Näytteen perusmassa kuvattuna ristinikoleilla. b) Lähikuva serpentiinistä, karbonaateista ja leukokseenista koostuvasta perusmassasta ristinikoleilla kuvattuna.

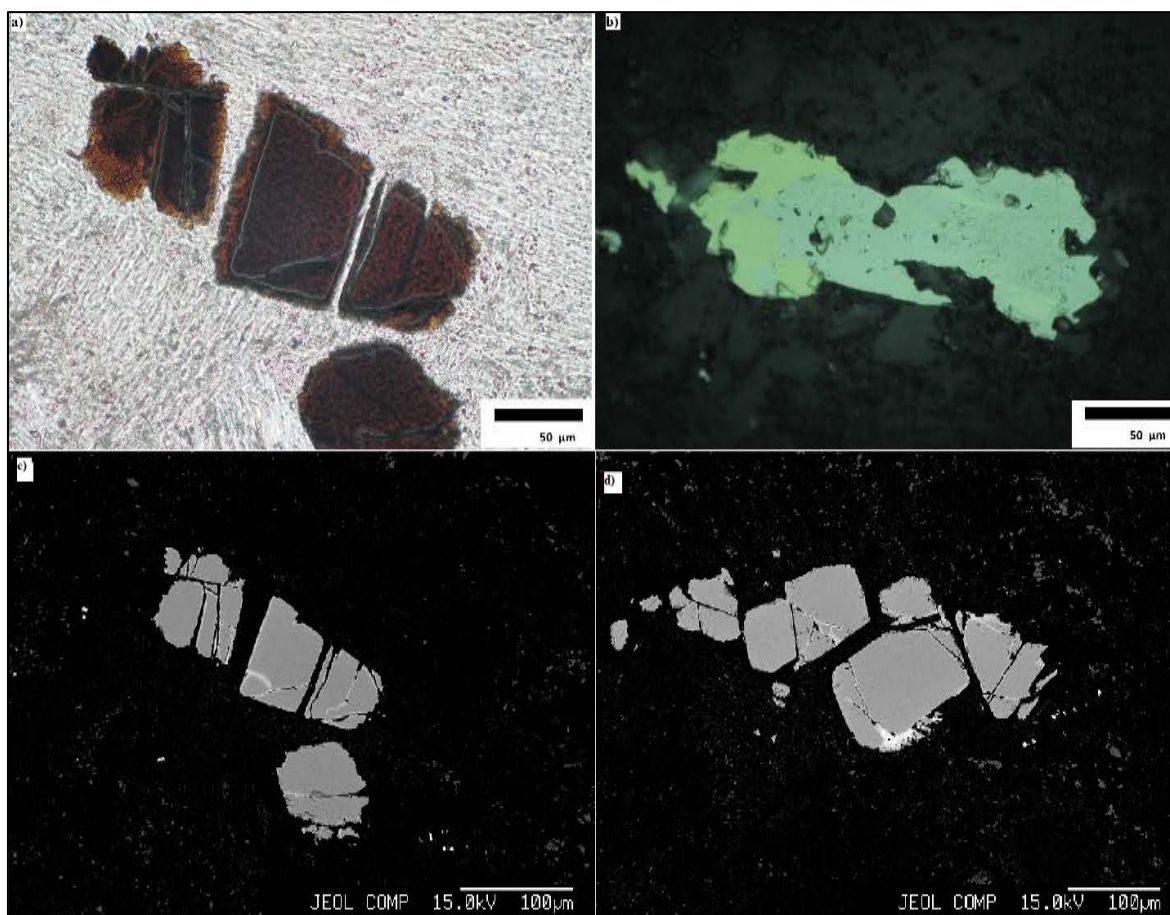
Komatiittisiksi vulkaniiteiksi luokitellut näytteet ovat kairasydämeistä Suurikuusikon kaivospiirin eteläosasta, Ketolan alueelta. Oliivinihajarakeiden pseudomuotoja sisältämä näyte (Kuva 13) 54.1 metrin syvyydellä muuttuu 80.2 metrin syvyydellä lähes täysin serpentiytyneeksi oliiviiniortokumulaatiksi (Kuva 15).



**Kuva 13.** a) Oliiviniporfyryinen komatiittinen vulkaniitti ristinikoleilla kuvattuna ristinikoleilla. Näyte FIKIO112847. b) Sama näyte kuvattuna tasopolarisoidussa valossa.



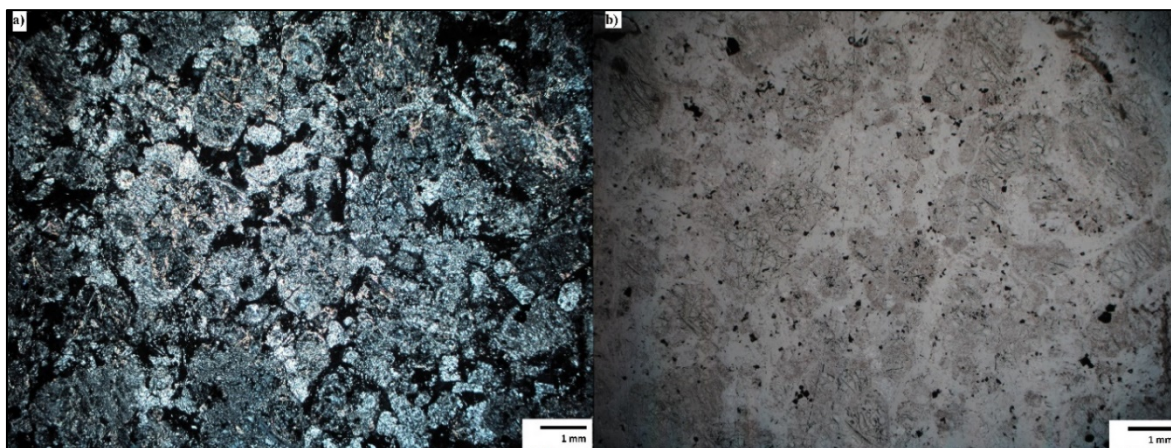
Näytteen FIKIO112847 hajarakeet ovat täysin serpentiniittiyityneitä, omanmuotoisia, pituudeltaan jopa kaksi millimetrisiä oliviinin pseudomuotoja. Hienorakeinen ja neulasmainen perusmassa koostuu amfiboliryhmän mineraaleista, jotka ovat todennäköisesti täysin korvanneet alunperin pyrokseenirikkaan perusmassan.



**Kuva 14.** Näytteen FIKIO112847 oksideja ja sulfideja. Kuvassa a) kromiittikiteitä kuvattuna 50-kertaisella suurennoksella tasopolarisoidulla valolla. Kuvassa b) kuparikiisu-magneettiikiisurae, jossa pentlandiitti esiintyy liekkikuvioisina sulkeumina (50-kertainen suurennus heijastavalla valolla kuvattuna). Kuvissa c ja d kuvattu kromiittirackasaumia ja niiden koostumusten vaihtelua BSE-kuvina.

Aksessorisina mineraaleina näytteessä FIKIO112847 esiintyy hyvin hienorakeista kromiittia (Kuva 14a) sekä sulfidimineraaleja, kuten magneettiikiisua, kuparikiisua ja pentlandiittia. Kromiittirakeet esiintyvät rackasaumina ja ovat säilyneet lähes

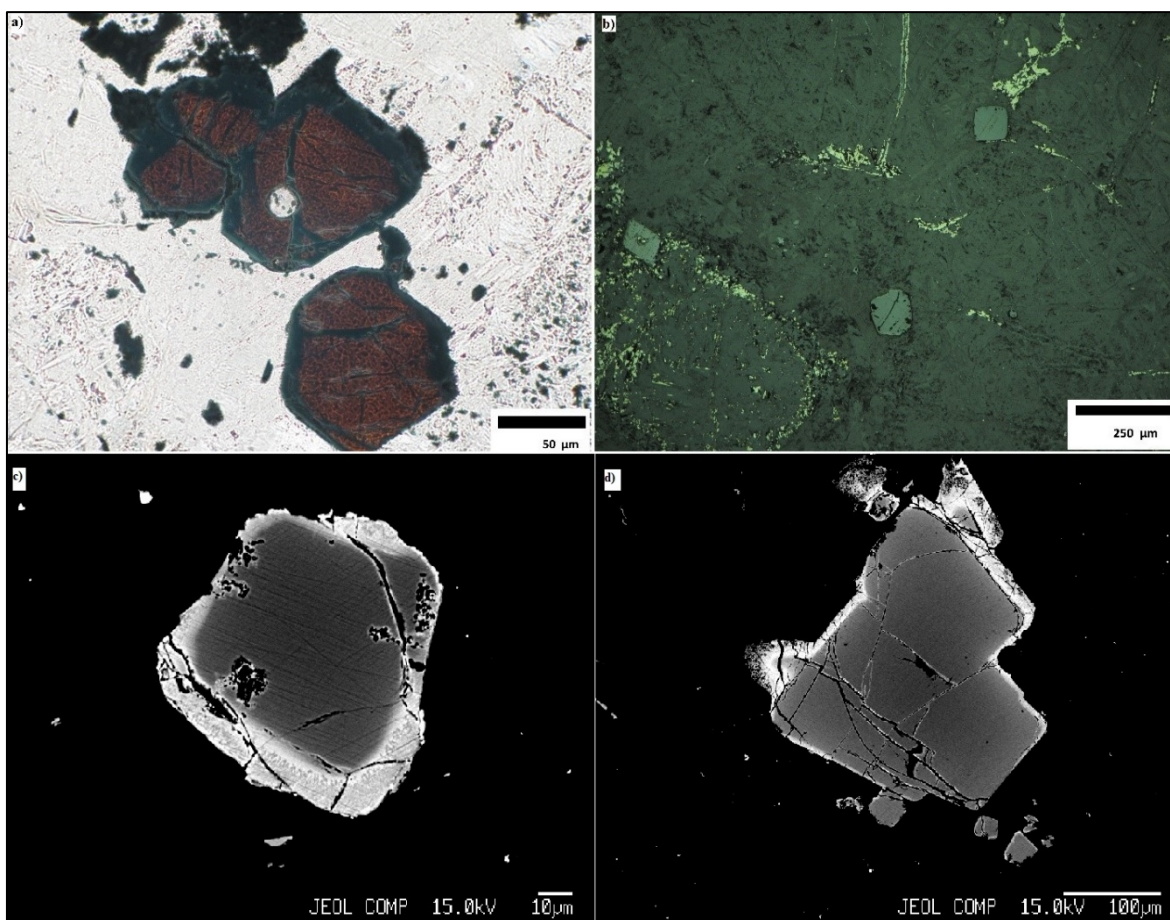
primääreinä ollen läpikulkevassa valossa tumman ruskeita (Kuva 14c-d). Hienorakeiset sulfidimineraalit, joita ovat kuparikiisu, magneettikiisu sekä pentlandiitti (Kuva 14b), esiintyvät heikkona piroteena erityisesti serpentiniittitytynneiden oliviinin pseudomuotojen yhteydessä (Kuvan 14b sulfidit varmistettu EDS-analyysillä).



**Kuva 15.** Täysin serpentiniittitytynyt oliviiniortokumulaatti kuvattu ristnikoleilla (a) ja tasopolarisoidussa valossa (b). Näyte FIKIO112849.

Kuvassa 15 kuvattu näyte FIKIO112849 on rakenteeltaan kumulaattinen. Täysin serpentiniittitytneet, pyöreähköt kumulusoliviinirakeet ovat noin 1 millimetriä halkaisijaltaan. Murtuneiden oliviinipseudomuotojen halkeamissa esiintyy myös talkkia sekä karbonaatteja.

Päämineraalien lisäksi näytteen FIKIO112849 oliviinipseudomuotojen välisinä mineraaleina esiintyy omanmuotoisia ja suhteellisen hyvin säilyneitä kromiittirakeita ja niiden raekasaumia (Kuvat 16a, 16c-d). Kromiittien muuttuminen ilmenee selkeästi erottuvina, Ti-pitoisina magnetiittireunuksina kiteen reunoilla (Kuva 16c). Sulfidimineraalit, kuten hyvin hienorakeinen magneettikiisu ja pentlandiitti, esiintyvät tyypillisesti muuttuneissa oliviinipseudomuoissa (Kuva 16b).



**Kuva 16.** Kuvia oksideista ja sulfideista ultraemäksisessä oliviiniortokumulaatissa. (a) Magnetiittireunuksisia kromiitrakeita kuvattuna läpikulkevalla, tasopolarisoidulla valolla. Huomaa läpikuultava tummanruskea väri, joka indikoi vähäistä muuttumista. (b) Näytteen sulfideja ja kromiitteja kuvattuna heijastavassa valossa. (c) ja (d) BSE-kuvia (back-scattered electron images) vaihtelevasti muuttuneista kromiittirakeista. Näyte FIKIO112849.

### 5.1.3 *Amfiboliitit*

Tutkimusalueelta löytyy vallitsevana kivilajina esiintyvän, hienorakeisen tholeiittisen basaltin lisäksi myös selvästi karkeampirakeisia kivilajeja. Näytteet FIEXC102896, FIEXC102921, FIEXC102911, FIEXC102908, FIEXC102899 ja FIEXC102863 ovat raekooltaan hieno- tai keskirakeisia, paikoin jopa metagabromaisia ja koostuvat lähes kokonaan amfiboliryhmän mineraaleista. Edellä mainitut näytteet sijoittuvat kuvan 8



metamorfoosikartan mukaan metamorfoosiasteeltaan keskivahvan amfiboliittifasioksen alueelle, mikä selittää tholeiittisten basalttiprotoliittien raekoon kasvun. Hieno- ja keskirakeisille ja metamorfoituneille näytteille tyypillinen mineraaliseurue muodostuu pääasiallisesti tremoliitti-aktinoliittisarjan amfibolimineraaleista, karbonaateista sekä plagioklaasista (Kuva 17a). Mg-tholeiiteiksi luokitettujen näytteiden kohdalla esiintyy myös serpentiiniä.



**Kuva 17.** Amfiboliittifasioksen metamorfoosissa deformatuneita näytteitä. a) Näytteen amfibolit ovat halkaisijaltaan noin millimetrin ja ovat silminnähtävissä kuvassa (b). Näyte FIEXC102921. c) Amfiboliittinäyte FIEXC102896 koostuu pääasiallisesti sarvivälkkeestä, karbonaatti esiintyy raontäytteenä. d) Näyte on selkeästi liuskeinen, suuntautunut ja deformatunut. Näyte FIEXC102896. Kuvien (a) ja (c) mikroskooppikuvat on kuvattu ristityillä nikoleilla.

Tuktimusalueen voimakkaimmin metamorfoitunut näyte sijaitsee Pokan kylän eteläpuolella (näyte FIEXC102896 Kuvassa 8). Kyseinen näyte on voimakkaasti deformatunut ja koostuu pääasiallisesti suuntautuneesta sarvivälkkeestä sekä kalsiitista (Kuva 17). Opaakkeina mineraaleina amfibolivaltaisissa kiviläynteissä esiintyy rikkikiisua ja magnetiitti-hematiittirakeita. Magnetiitti-hematiitti-rikkikiisuraekasaumissa on havaittavissa magnetiittikiteen vyöhykkeellistä kasvua (ks. näytteen FIEXC102896 kuvaus liitteestä 1), mikä on selkeä merkki metamorfoosin vaikutuksesta.

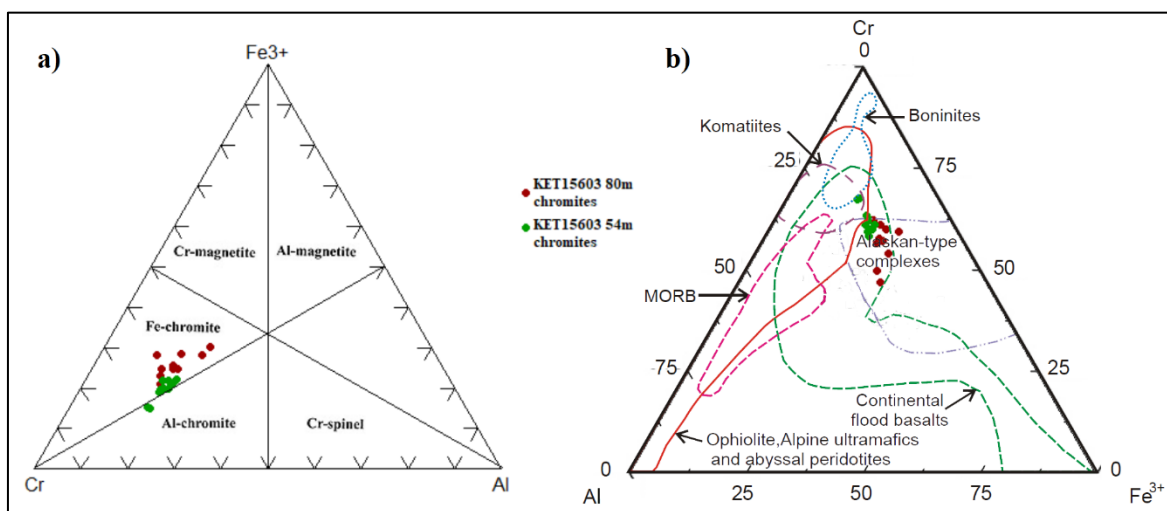
## 5.2. Mikroanalyysitulokset

Suurikuusikon kaivospiirin Ketola-alueelle sijoittuvan KET15603-kairasydämen ultraemäksisille laavoille KET16503-54m (FIKIO112847) ja KET15603-80m (FIKIO112849) tehtiin röntgenmikroanalyysi, jolla analysoitiin 28 pistettä näiden näytteiden kromiittirakeista ja niiden muuttumiskehistä. Taulukossa 8 on esitetty muuttumattomien tai vain vähäisesti muuttuneiden kromiittien ja niiden muuttumiskehien koostumuksia (täydellinen analyysitaulukko ja analyysipisteet esitetty Liitteessä 3). Kromiiteista mitattu  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -pitoisuus on minimissään 31,3 p.-% ja maksimissaan 49,6 p.-% ja MgO-pitoisuus vaihtelee välillä 7,74-15,78 p.-%. Kromiittien korkeat MgO-pitoisuudet indikoivat niiden muuttumattomuutta sekä magman primitiivisyyttä. Myös  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuudet ovat suhteellisen korkeat, n. 12,3–20,6 p.-%, kun taas kromiitin muuttuneelta kehältä (KET80 cr 6, Taulukossa 8) pitoisuudeksi on mitattu vain 0,46 p.-%. Muuttuneelta kehältä mitatut FeO- ja  $\text{TiO}_2$ -pitoisuudet ovat selkeästi kromiittikiteiden keskikohtia suurempia, mikä viittaa kehän koostumuksen olevan titaanipitoista magnetiittia.

**Taulukko 8.** Kromiittien koostumuksia näytteistä KET15603-54m (FIKIO112847) ja KET15603-80m (FIKIO112849).

Kommentti	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CoO	ZnO	NiO	Osa
ket80 cr 4	11,05	31,286	0,375	2,39	19,414	14,826	19,421	0,315	0,068	0,025	0,181	ydin
ket80 cr 5	10,306	36,332	0,231	1,316	20,613	9,967	19,844	0,33	0,03	0,12	0,098	ydin
ket80 cr 6	0,358	5,838	0,341	19,391	0,463	22,621	46,135	1,346	0,076	0,138	0,037	kehä
ket80 cr 7	11,384	43,637	0,233	1,162	16,987	8,553	17,889	0,348	0,058	0,187	0,095	ydin
ket80 cr 8	11,235	40,635	0,206	1,193	17,051	8,872	16,989	0,34	0,065	0,198	0,114	ydin
ket80 cr 9	6,861	38,147	0,265	1,363	16,577	9,287	23,614	0,492	0,087	0,184	0,06	kehä
ket80 cr 10	10,675	40,778	0,339	1,316	15,704	9,118	17,475	0,303	0,068	0,022	0,162	ydin
ket80 cr 11	7,738	45,968	0,103	0,978	12,294	6,530	20,861	0,429	0,06	0,097	0,096	ydin
ket80 cr 12	11,37	46,623	0,139	0,954	15,137	6,760	16,894	0,296	0,084	0,087	0,159	ydin
ket80 cr 13	9,506	39,926	0,287	1,361	16,442	10,388	20,316	0,315	0,042	0,154	0,184	ydin
ket80 cr 14	10,358	45,106	0,179	0,93	14,299	8,233	17,955	0,351	0,097	0,137	0,205	ydin
ket80 cr 15	12,427	46,807	0,159	0,942	15,958	5,913	15,274	0,295	0,087	0,218	0,214	ydin
ket80 cr 16	13,522	46,355	0,13	0,979	16,712	6,693	14,151	0,202	0,055	0,078	0,224	ydin
ket54 cr 1	12,522	46,612	0,143	1,045	16,406	6,692	15,893	0,266	0,055	0	0,194	ydin
ket54 cr 2	13,706	44,925	0,216	1,067	17,621	7,244	14,138	0,257	0,007	0,005	0,25	ydin
ket54 cr 3	12,909	44,502	0,136	1,074	17,639	7,130	15,290	0,299	0,043	0,093	0,174	ydin
ket54 cr 4	12,594	45,277	0,095	1,064	17,156	7,123	15,853	0,303	0,1	0,055	0,159	ydin
ket54 cr 5	14,065	46,977	0,179	1,042	16,426	7,211	13,606	0,218	0,083	0,071	0,214	ydin
ket54 cr 6	13,44	46,241	0,165	0,969	16,34	6,505	13,746	0,333	0,062	0,062	0,212	ydin
ket54 cr 7	15,782	47,866	0,108	0,946	15,924	6,561	10,181	0,184	0,049	0,153	0,283	ydin
ket54 cr 8	15,59	49,515	0,117	0,934	15,625	5,988	10,715	0,28	0,03	0,091	0,166	ydin
ket54 cr 9	13,072	43,718	0,297	1,012	18,166	7,387	15,063	0,242	0,062	0,069	0,082	ydin
ket54 cr 10	13,516	46,457	0,134	0,942	17,049	6,400	14,164	0,286	0,081	0,087	0,195	ydin
ket54 cr 11	13,363	46,136	0,115	0,892	16,953	6,597	14,244	0,259	0,068	0,206	0,146	ydin
ket54 cr 12	12,825	42,237	0,178	1,137	18,106	8,518	15,451	0,285	0,001	0,045	0,244	ydin

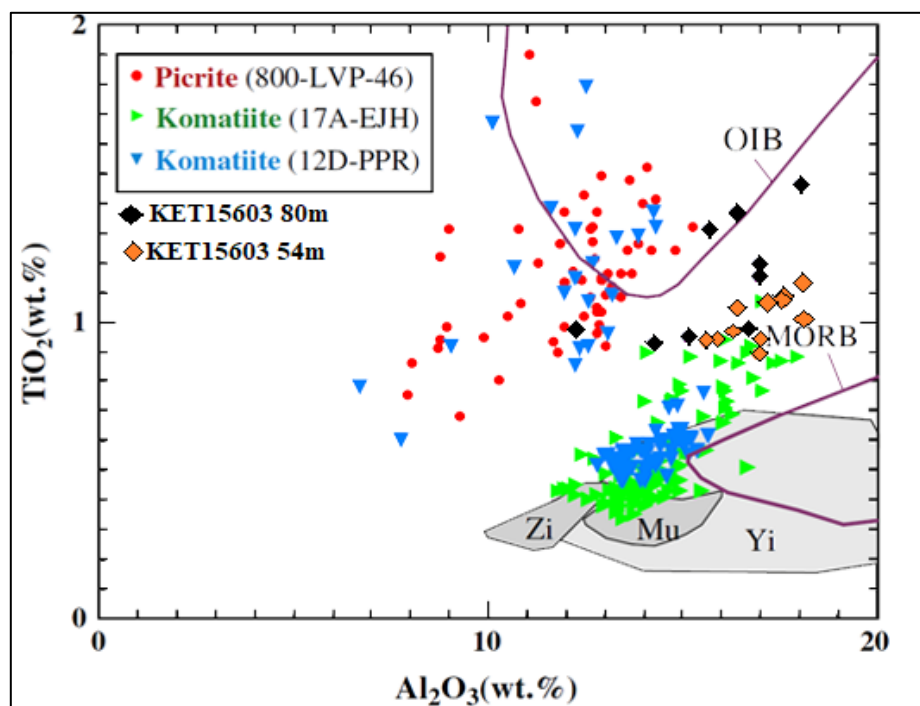
Kuvan 18a diagrammissa esitetyt muuttumattomat tai vain vähän muuttuneet kromiitit sijoittuvat suhteellisen vähäisellä hajonnalla Al- ja Fe-kromiittien kenttään, joista ensimmäiseen sijoittuu vain näytteestä KET15603 54m analysoituja kromiitteja. Näytteen KET15603 80m kromiitit sijoittuvat Fe-kromiittien kenttään.



**Kuva 18.** Näytteiden KET15603-54 (FIKIO112847) ja KET1503-80 (FIKIO112849) kromiittien luokittelu. a) Cr-Fe<sup>3+</sup>-Al-diagrammi laadittu Stevensin (1944) mukaan. b) Al-Cr-Fe<sup>3+</sup>-diagrammi, jossa kentät MORB, boniniitit, mantereisten basalttien, merenpohjan peridotiittien ja ”Alpine-tyyppiset” ultramafiset kivet Barnesin ja Roederin (2001) mukaan. Komatiittien kenttä Barnesin ja Tangin (1999) mukaan sekä Alaskan-tyyppisten kompleksien kenttä Zhoun et al. (1997) mukaan.

Kuvan 18b Al-Cr-Fe<sup>3+</sup>-diagrammissa kromiitit menevät päällekkäin usean eri geotektonisen ympäristön kromiittien kanssa; niitä ovat komatiitit, mantereiset basaltit, merenpohjan peridotiitit, ofoliittiset ja ”Alpine-tyyppiset” ultramafiset kivet sekä osittain myös Alaskan tyyppisten kompleksien kivilajit.





**Kuva 19.** Näytteiden KET15603-54 (FIKIO112847) ja KET15603-80 (FIKIO112849) kromiittien luokittelu ja vertailu Kittilän alueella sijaitsevien Peuranmaan ja Jeesiörovan komatiittien ja pikriittien kromispinellien koostumuksiin. Näytteiden 800-LVP-46, 17A-EJH ja 12D-PPR arvot Hanskin ja Kamenetskyn (2013) mukaan. Referenssikenttien MORB- ja OIB-arvot Kamenetskyn et al. (2001) mukaan. Harmaat komatiittien kromiittien koostumuksia vastaavat kentät perustuvat lähteisiin Arndt et al. (1977), Zhou & Kerrich (1992) sekä Barnes (1998).

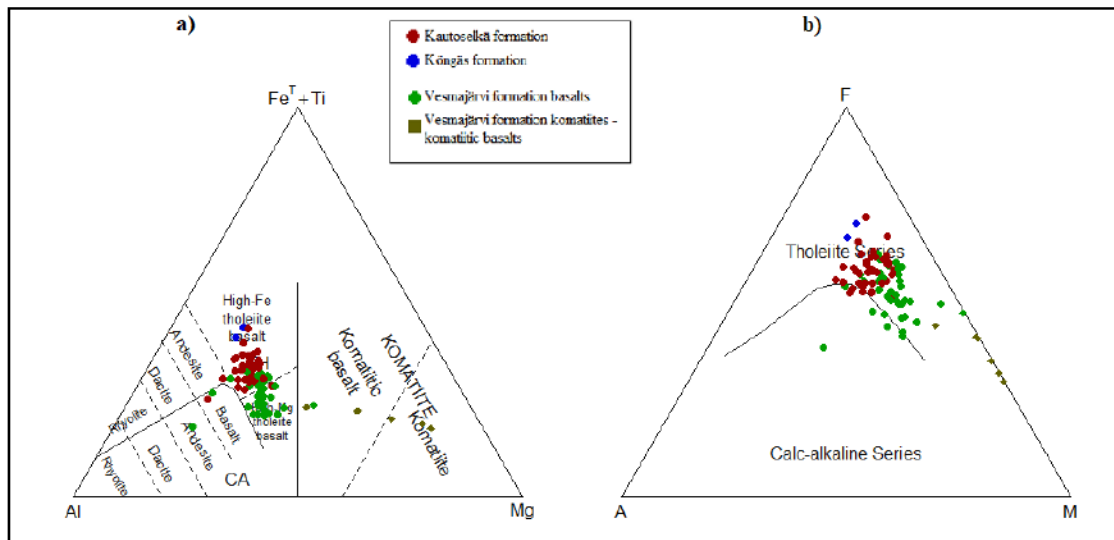
Kuvan 19  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{TiO}_2$  -diagrammin mukaan näytteiden KET15603-54 ja KET15603-80 kromiittien koostumuksissa esiintyy melko voimakasta vaihtelua, erityisesti niiden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuuksissa. Kromiitit sijoittuvat MORB- ja OIB-kenttien väliin ja vain kolmen KET15603-80 näytteen kromiittianalyysin kohdalla OIB-kenttään. Kromiittien  $\text{TiO}_2$ -pitoisuudet ovat komatiittinäytteitä 17A-EJH ja 12D-PPR selkeästi korkeammat ja vastaavatkin sen osalta Peuranmaan pikriittisen laavan kromispinellejä. KET15603-kairasydämen kromiittien  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuudet ovat kuitenkin Peuranmaan pikriittejä korkeammat ja vastaavat osittain Jeesiörovan komatiittien 17A-EJH ja 12D-PPR pitoisuuksia.



### 5.3. Geokemiallinen luokittelu

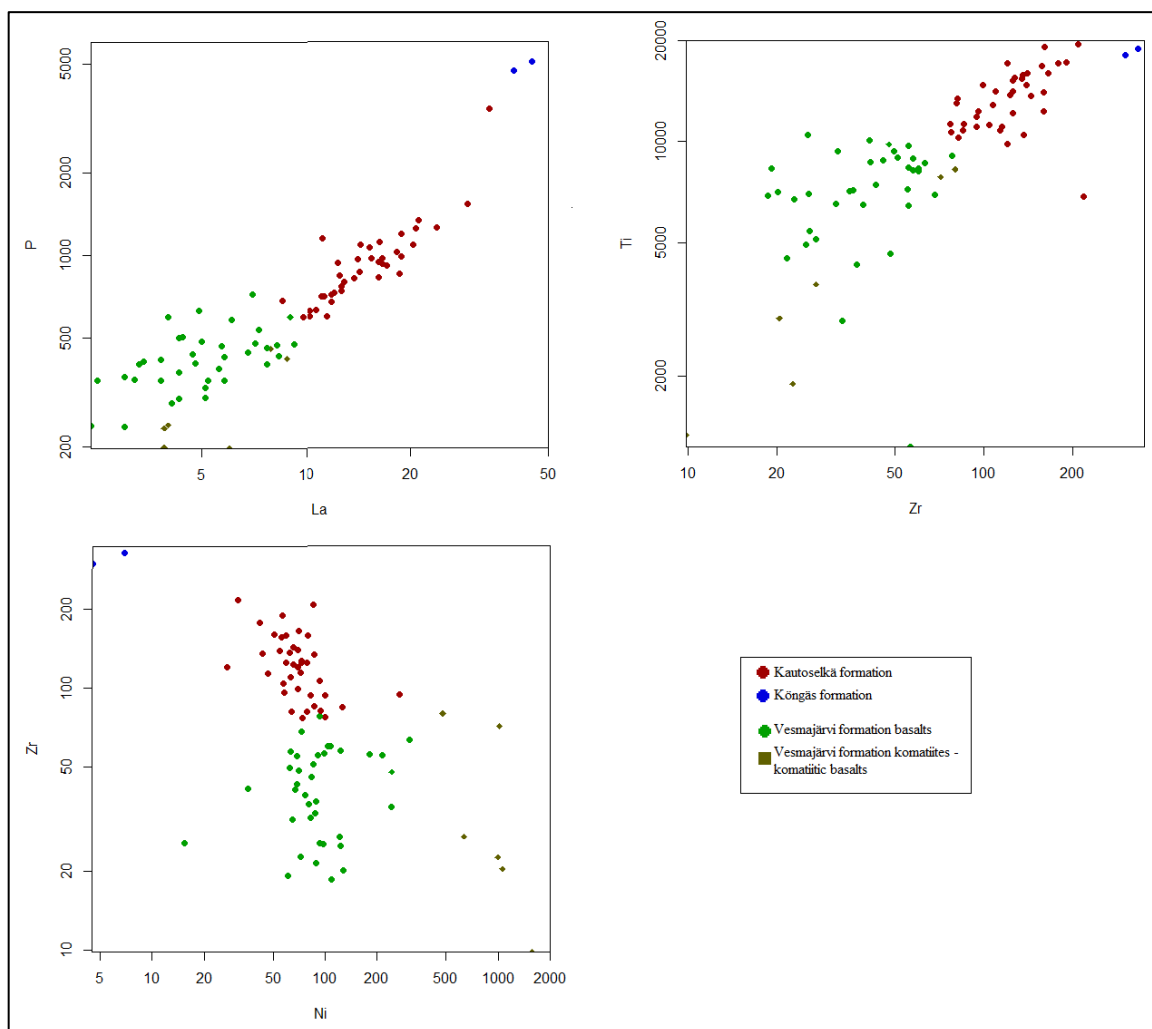
Tämän työn tutkimusalueelta kerätyt pala- ja kairasydännäytteet on luokiteltu kemiallisten analyyysien perusteella kolmeen ryhmään, jotka muodostavat toisistaan selkeästi erottuvat geokemialliset populaatiot. Kaksi niistä vastaa geokemiallisilta piirteiltään täysin edellä kuvattuja Vesmajärven ja Kautoselän vulkaniittimuodostumia (Lehtonen et al., 1998; Hanski & Huhma, 2005). Kolmanteen ryhmään on luokiteltu kaksi selkeästi Vesmajärven ja Kautoselän muodostumalle tyypillisistä näytteistä poikkeavaa analyysia. Nämä näytteet vastaavat koostumukseltaan Vesmajärven muodostumaan rinnastettavan Kōnkään muodostuman tyynylaavojen koostumusta (Hanski & Huhma, 2005).

Edellä mainittujen ryhmien lisäksi on joukko analyysejä (6 kappaletta), jotka käsittävät selkeään luokittukseen kelpaamattomia, muuttuneita tai selkeästi edellä mainitusta kolmesta pääryhmästä poikkeavia näytteitä. Tähän joukkoon luokiteltujen näytteiden geokemialliset ominaisuudet muodostavat suuren hajonnan, jonka seurauksena ne on syytä sulkea tutkimuksen ulkopuolelle siihen kelpaamattomina ja sen selkeyttämiseksi.



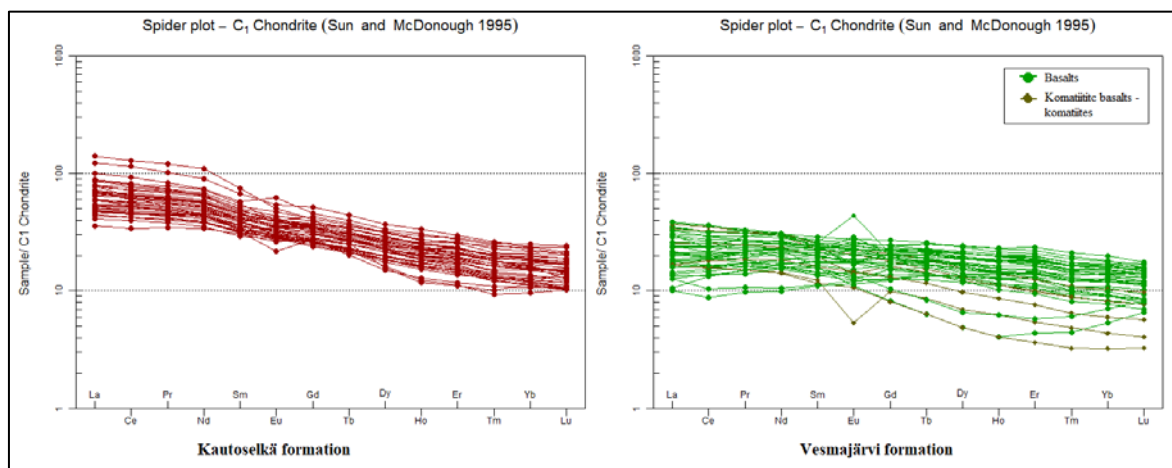
**Kuva 20.** Kautoselän, Vesmajärven sekä Kōnkään muodostumaan luokitellut näytteet (a) Jensenin kationidiagrammilla (Jensen, 1976) ja (b) AFM-diagrammilla, jossa A =  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ , F = FeOtot ja M = MgO (Irvine ja Baragar, 1971).

Kautoselän muodostumaan ryhmitetyt basaltit vastaavat Kuvien 20a ja 20b diagrammien mukaan selkeästi Fe-tholeiittisia basaltteja. Ne ovat myös selkeästi rautarikkaampia kuin Vesmajärven muodostumaan ryhmitetyt vulkaniitit, jotka sijoittuvat Jensenin (1976) kationidiagrammin mukaan vallitsevasti korkean Mg-pitoisuuden omaavien tholeiittien kenttään. Vesmajärven muodostumaan rinnastetuista näytteistä yksi vastaa koostumukseltaan andesiittista basalttia, neljä komatiittista basalttia ja yksi näyte komatiitteja. Könkään muodostumaan rinnastetut näytteet erottuvat Kautoselän muodostumasta niiden korkeampien Fet + Ti ja FeOt arvojen perusteella (Kuvat 20a ja 20b).



**Kuva 21.** Vulkaniittien ryhmittely P vs. La, Ti vs. Zr sekä Zr vs. Ni -diagrammeilla.

Vesmajärven muodostumaan rinnastetut basalttiset, komatiittiset basaltit sekä komatiittinen näyte erottuvat selkeästi Kautoselän ja Könkään muodostumaan rinnastetuista näytteistä, erityisesti alhaisempien lantanidien, fosforin, zirkonin sekä titaanin pitoisuuksina (Kuva 21). Könkään muodostumaan rinnastetut näytteet erottuvat erityisesti huomattavan korkean P-pitoisuuden (noin 5000 ppm) ja Zr-pitoisuuden ( $> 200$  ppm) ansiosta.

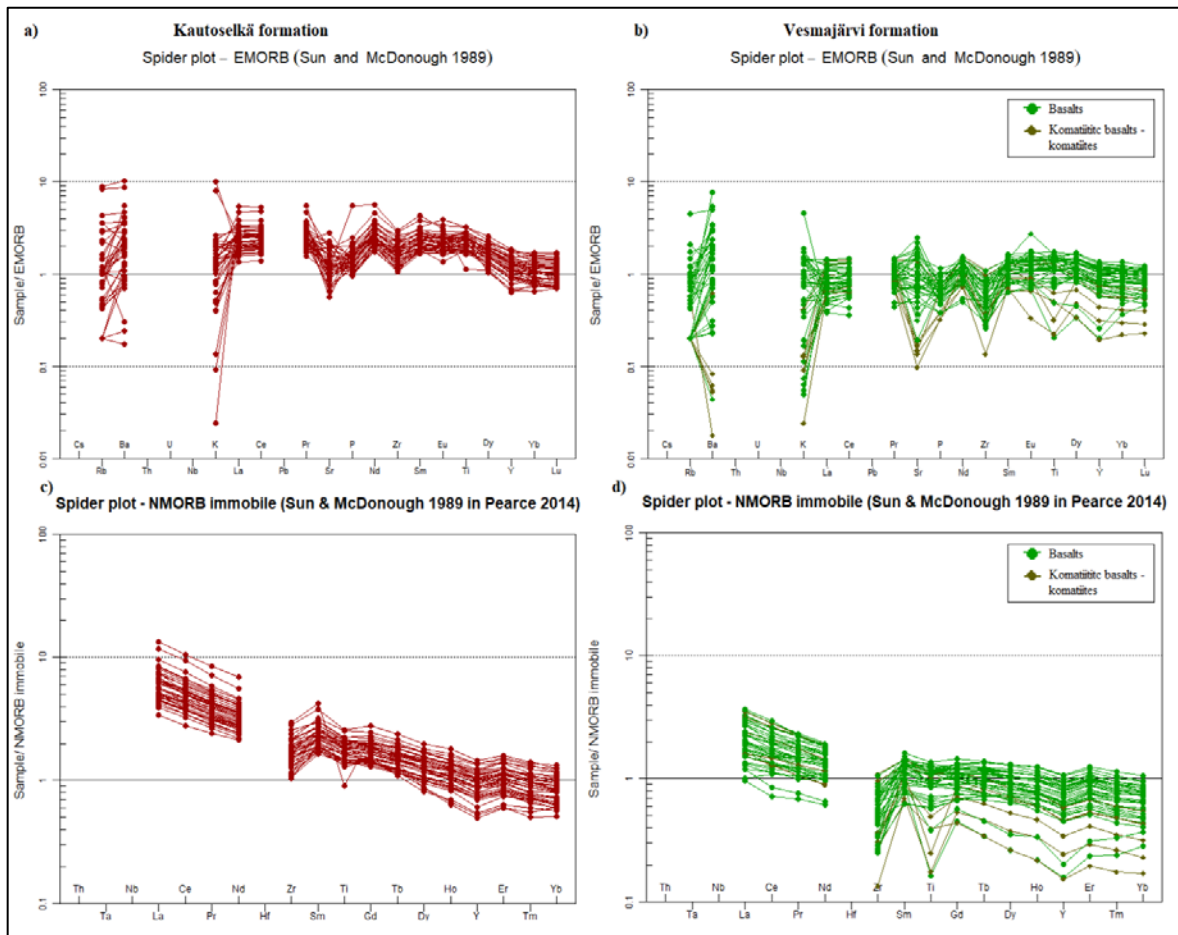


**Kuva 22.** Kautoselän ja Vesmajärven muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien C1-kondriittinormalisoidulla REE-diagrammilla.

Kuvan 22 kondriittinormalisoitujen REE-jakaumien mukaan Kautoselän muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien REE-jakauma on selkeästi rikastunut kevyistä harvinaisista maametalleista (LREE) suhteessa Vesmajärven muodostumaan (noin 30-100-kertaiset LREE-arvot kondriittisiin arvoihin nähden vs. Vesmajärven muodostumassa noin 10-30 kertaiset). Kautoselän muodostuman jakauma on selkeästi jyrkästi laskeva, kun taas Vesmajärven jakauma on lähes tasainen tai heikosti laskeva. Vesmajärven muodostuman komatiittiset basaltit ja komatiittinen näyte eroavat muusta näytejoukosta selkeästi muita alhaisempien raskaiden harvinaisten maametallien (HREE) pitoisuuksina.

Vesmajärven muodostuman kivilajit ovat pääosin hieman köyhtyneitä (noin 0.7 kertaisia) tai lähes samalla tasolla EMORB:iin verrattuna, kun taas Kautoselän muodostuman kivilajit ovat hieman sitä kehittyneempiä (Kuvat 23a-b). Normaalin valtameren basaltin (NMORB)

tarttumattomien alkuaineiden mukaan normalisoidulla jakaumalla (Kuvat 23c-d) voidaan huomata Kautoselän muodostuman LREE-alkuaineiden selkeä Vesmajärven muodostumaa suurempi rikastuminen suhteessa NMORB-jakaumaan. Kautoselän muodostumassa vain REE-alkuainesta raskaimmat, kuten Dy, Ho, Y, Er, Tm ja Yb, vastaavat NMORB:in pitoisuuksia tai ovat heikosti köyhtyneitä (Kuva 23c). Kuvassa 21d voidaan huomata erityisesti Vesmajärven komatiittisten basalttien ja komatiittisen näytteen alhaiset pitoisuudet NMORB-jakaumaan nähden. Vesmajärven basalteista vain LREE-alkuaineet, kuten La, Ce, Pr sekä Nd, ovat selkeästi rikastuneita (korkeimmillaan kaksinkertaiset arvot) NMORB-jakaumaan nähden.



**Kuva 23.** Kautoselän ja Vesmajärven muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien NMORB- ja E-MORB-normalisoituja hivenalkuainejakaumia.. Normalisointiarvot McDonoughin ja Sunin (1989) mukaan.

Erityisesti Kittilän sviitin vulkaniittien ryhmittelylle soveltuvia ovat pääalkuaineiden K, Ti ja P sekä hivenalkuaineiden Zr, Ce, Eu, Gd, La, Nd, Pr, Rb, Sm, Tb, Ba ja Be vertailu, sillä ne ovat Kautoselän muodostumaan rinnastettavilla vulkaniittianalyyseillä jopa 1.5-3 kertaa suuremmat kuin Vesmajärven muodostumalle (Taulukko 9). Edellä kuvattujen menetelmien mukaan 39 näytettä on luokiteltu kuuluvaksi Kautoselän muodostumaan ja 43 näytettä Vesmajärven muodostumaan.

**Taulukko 9.** Kautoselän muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien keskiarvopitoisuuksia, tilastollisia tunnuslukuja sekä vertailulukuja Vesmajärven muodostumaan nähden.

	<b>Luku- määrä</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Mediaani</b>	<b>Pienin arvo</b>	<b>Suurin arvo</b>	<b>Keski- hajonta</b>	<b>Suhde Vesma- järveen</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	39	43,88	44,03	35,53	54,3	3,37	1,01
<b>TiO<sub>2</sub> %</b>	39	2,16	2,19	1,48	3,15	0,4	1,9
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	39	14,02	14,27	11,55	16,48	1,08	1,02
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	39	13,92	14	8,31	19,4	1,68	1,13
<b>MnO %</b>	39	0,2	0,196	0,13	0,446	0,05	1,15
<b>MgO %</b>	39	5,62	5,6	3,54	7,79	0,88	0,62
<b>CaO %</b>	39	8,07	8,16	2,76	12,69	1,86	0,99
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	39	2,94	3,04	0,83	4,83	0,96	1,28
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	39	0,38	0,305	0,022	2,23	0,42	1,97
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	39	0,26	0,244	0,136	0,88	0,11	2,33
<b>Cr ppm</b>	39	131,59	104	32,9	1020	152,26	0,31
<b>Ni ppm</b>	39	74,19	69,8	27,2	269	36,96	0,33
<b>Co ppm</b>	39	40,12	40,1	18,8	60,1	8,55	0,78
<b>Sc ppm</b>	39	34,81	34,6	24,2	48,2	4,91	0,85
<b>V ppm</b>	39	409,08	407	162	640	72,63	1,35
<b>Zr ppm</b>	39	125,38	123	77	218	35,48	3
<b>La ppm</b>	39	15,49	14,3	8,5	33,7	5,16	2,89
<b>Sm ppm</b>	39	6,19	5,91	4,31	11,08	1,45	2,1
<b>Ba ppm</b>	39	138,77	114	9,97	586	117,77	1,54
<b>Rb ppm</b>	35	9,07	5,4	2,1	44,6	9,75	1,79

	Luku- määrä	Keskiarvo	Mediaani	Pienin arvo	Suurin arvo	Keski- hajonta	Suhde Vesma- järveen
<b>Sr ppm</b>	39	212,34	197	87,8	432	80,33	1,44
<b>Cd ppm</b>	33	0,23	0,2	0,1	0,8	0,16	0,88
<b>Ce ppm</b>	39	37,57	35	20,9	78,7	11,87	2,82
<b>Dy ppm</b>	39	5,89	5,7	3,7	9,1	1,26	1,51
<b>Er ppm</b>	39	3,12	3,09	1,78	4,75	0,76	1,37
<b>Eu ppm</b>	39	1,99	1,91	1,23	3,52	0,45	1,87
<b>Gd ppm</b>	39	6,48	6,36	4,77	10,31	1,26	1,82
<b>Ho ppm</b>	39	1,15	1,13	0,64	1,82	0,27	1,44
<b>Lu ppm</b>	39	0,37	0,36	0,25	0,6	0,09	1,31
<b>Nd ppm</b>	39	24,42	22,7	15,6	50,3	6,85	2,45
<b>Pr ppm</b>	39	5,35	4,9	3,2	11,2	1,6	2,62
<b>Sb ppm</b>	37	1,51	1	0,2	4,5	1,41	0,73
<b>Tb ppm</b>	39	1,02	0,99	0,73	1,59	0,2	1,65
<b>Tm ppm</b>	39	0,42	0,42	0,23	0,65	0,1	1,34
<b>Yb ppm</b>	39	2,57	2,51	1,55	4,03	0,64	1,31
<b>Be ppm</b>	36	0,99	0,8655	0,506	1,91	0,32	1,65
<b>Y ppm</b>	39	26,43	26,1	13,9	40,6	6,69	1,42
<b>Li ppm</b>	39	16,05	15,1	5,15	39,1	7,29	0,7
<b>Mo ppm</b>	9	3,15	2,58	2,2	4,86	0,94	1,01
<b>S ppm</b>	38	1142,95	790,5	33,4	3340	949,12	0,92
<b>Cu ppm</b>	39	79,29	78,6	9,06	165	41,32	0,83
<b>Zn ppm</b>	39	113,84	107	72,8	215	28,6	1,13
<b>Fe#</b>	39	0,69	0,69	0,6	0,8	0,04	1,21
<b>Mg#</b>	39	0,31	0,31	0,2	0,4	0,04	0,72
<b>La<sub>N</sub>/Sm<sub>N</sub></b>	39	1,54	1,49	1,14	2,41	0,22	1,35

Vesmajärven muodostumaan luokiteltujen vulkaniittien alkuaineissa vain Cr ja Ni nousevat selkeästi Kautoselän muodostuman arvoja korkeammiksi. Edellä mainittujen pääalkuaineiden lisäksi myös magnesiumin keskiarvo on Kautoselän muodostumaan ryhmitettyjä analyyseja korkeampi (Taulukko 10).

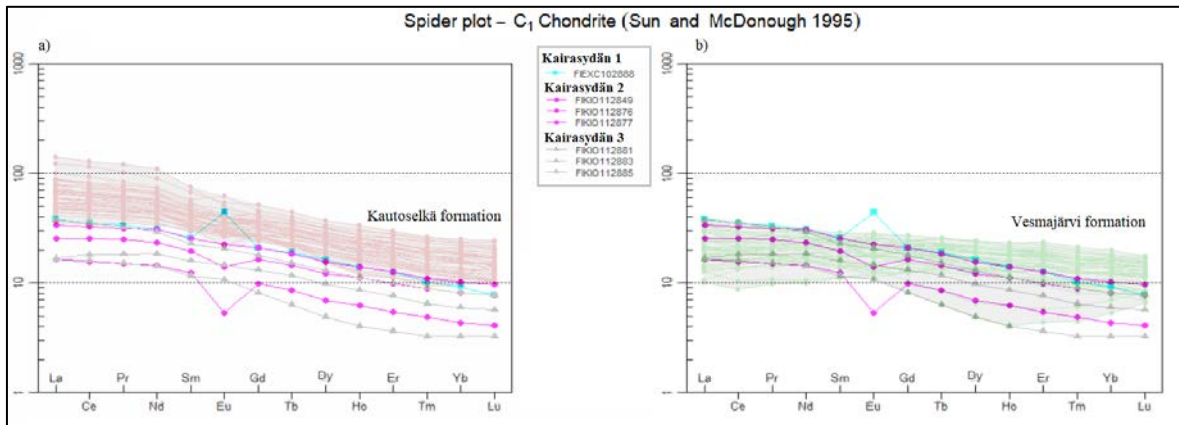
**Taulukko 10.** Vesmajärven muodostumaan kuuluvien Fe-tholeiittisista basalteista Mg-rikkaisiin tholeiittisiin basaltteihin vaihtelevien vulkaniittien keskiarvopitoisuuksia, tilastollisia tunnuslukuja ja vertailulukuja Kautoselän muodostumaan nähden.

	<b>Luku- määrä</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Mediaani</b>	<b>Pienin arvo</b>	<b>Suurin arvo</b>	<b>Keskihajonta</b>	<b>Suhde Kautoselkään</b>
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	36	44,37	44,815	31,01	54,89	4,27	1,01
<b>TiO<sub>2</sub> %</b>	36	1,15	1,12	0,7	1,79	0,26	0,53
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	36	14,54	14,485	10,87	18,4	1,41	1,04
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	36	12,11	12,1	6,61	15,4	2,02	0,87
<b>MnO %</b>	36	0,18	0,1705	0,081	0,316	0,04	0,89
<b>MgO %</b>	36	7,02	7,165	4,02	9,17	1,26	1,25
<b>CaO %</b>	36	8,53	8,385	2,34	16,27	2,72	1,06
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	36	2,67	2,6	0,76	5,33	0,94	0,91
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	36	0,22	0,2025	0,01	1,07	0,18	0,59
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	36	0,11	0,1145	0,063	0,201	0,03	0,44
<b>Cr ppm</b>	36	189,08	141,5	31	629	130,9	1,44
<b>Ni ppm</b>	36	100,65	87,9	15,4	308	55,04	1,36
<b>Co ppm</b>	36	45,46	45,1	27,8	57,5	6,6	1,13
<b>Sc ppm</b>	36	43,21	44,3	29,7	53,2	5,02	1,24
<b>V ppm</b>	36	323,56	315,5	209	410	42,67	0,79
<b>Zr ppm</b>	36	42,21	41,1	18,6	78,3	15,64	0,34
<b>La ppm</b>	36	5,19	4,95	2,4	9,2	1,74	0,34
<b>Sm ppm</b>	36	2,97	3,055	1,64	4,28	0,66	0,48
<b>Ba ppm</b>	36	103,95	83,55	12,8	433	89,07	0,75
<b>Rb ppm</b>	24	5,15	3,85	2,1	22,6	4,19	0,57
<b>Sr ppm</b>	36	165,6	140,5	30,1	382	81,76	0,78
<b>Cd ppm</b>	27	0,27	0,2	0,1	1,6	0,29	1,19
<b>Ce ppm</b>	36	12,87	11,95	5,4	22,2	3,93	0,34
<b>Dy ppm</b>	36	4,12	4,15	1,2	6	1,08	0,7
<b>Er ppm</b>	36	2,45	2,395	0,7	3,74	0,67	0,78
<b>Eu ppm</b>	36	1,07	1,025	0,62	1,62	0,27	0,54
<b>Gd ppm</b>	36	3,66	3,805	1,65	5,37	0,86	0,56

	Luku- määrä	Keskiarvo	Mediaani	Pienin arvo	Suurin arvo	Keskihajonta	Suhde Kautoselkään
<b>Ho ppm</b>	36	0,85	0,84	0,22	1,26	0,23	0,74
<b>Lu ppm</b>	36	0,31	0,32	0,16	0,43	0,08	0,83
<b>Nd ppm</b>	36	9,84	10,2	4,5	13,9	2,44	0,4
<b>Pr ppm</b>	36	2	2	0,9	3	0,55	0,37
<b>Sb ppm</b>	34	2,09	1,2	0,2	7,8	2,01	1,38
<b>Tb ppm</b>	36	0,65	0,645	0,23	0,93	0,16	0,63
<b>Tm ppm</b>	36	0,34	0,34	0,11	0,52	0,09	0,8
<b>Yb ppm</b>	36	2,13	2,2	0,86	3,2	0,55	0,83
<b>Be ppm</b>	14	0,59	0,539	0,502	0,929	0,12	0,6
<b>Y ppm</b>	36	19,98	19,95	4,4	29,8	5,76	0,76
<b>Li ppm</b>	36	23,23	19,85	6,69	89	17,69	1,45
<b>Mo ppm</b>	3	3,1	2,55	2,43	4,33	0,87	0,99
<b>S ppm</b>	30	1350	887	58,1	7760	1592,94	1,18
<b>Cu ppm</b>	36	94,23	90,45	5,86	185	41,74	1,19
<b>Zn ppm</b>	36	103,19	97,35	46,7	202	30,72	0,91
<b>Fe#</b>	36	0,61	0,61	0,5	0,71	0,06	0,88
<b>Mg#</b>	36	0,39	0,39	0,29	0,5	0,06	1,27
<b>LaN/SmN</b>	36	1,1	1,04	0,6	1,83	0,3	0,71

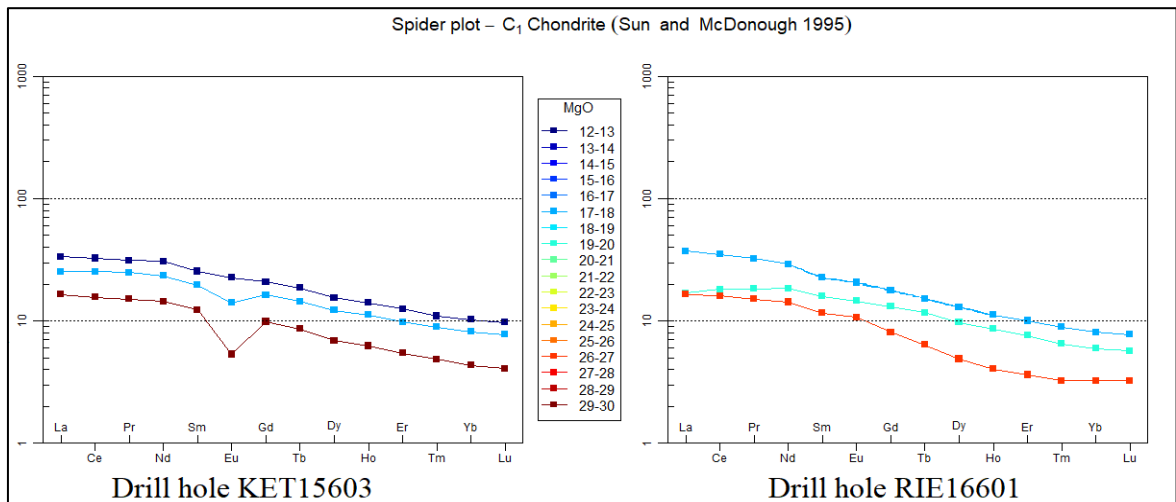
Vesmajärven ja Kautoselän muodostumaan kuuluvien basalttisten laavojen lisäksi tutkimusalueella esiintyy komatiittisia basaltteja sekä komatiittisia laavoja tai kumulaatteja. Tämän tutkielman yhteydessä edellä mainitut näytteet on ryhmitetty Vesmajärven muodostumaan niiden samankaltaisen kondriittinormalisoidun REE-jakauman perusteella (Kuva 24b). Komatiittisten basalttien ja komatiittisten laavojen HREE-pitoisuudet (kuten Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ja Lu) ovat kuitenkin Vesmajärven muodostumaan rinnastettuja basaltteja alhaisemmat (Kuva 24b ja Taulukko 11).





**Kuva 24.** Tutkimusalueella esiintyvät komatiittiset basaltit sekä komatiittiset laavat kolmesta eri kairasydäimestä verrattuna kuvassa (a) Kautoselän muodostumaan ja kuvassa (b) Vesmajärven muodostumaan.

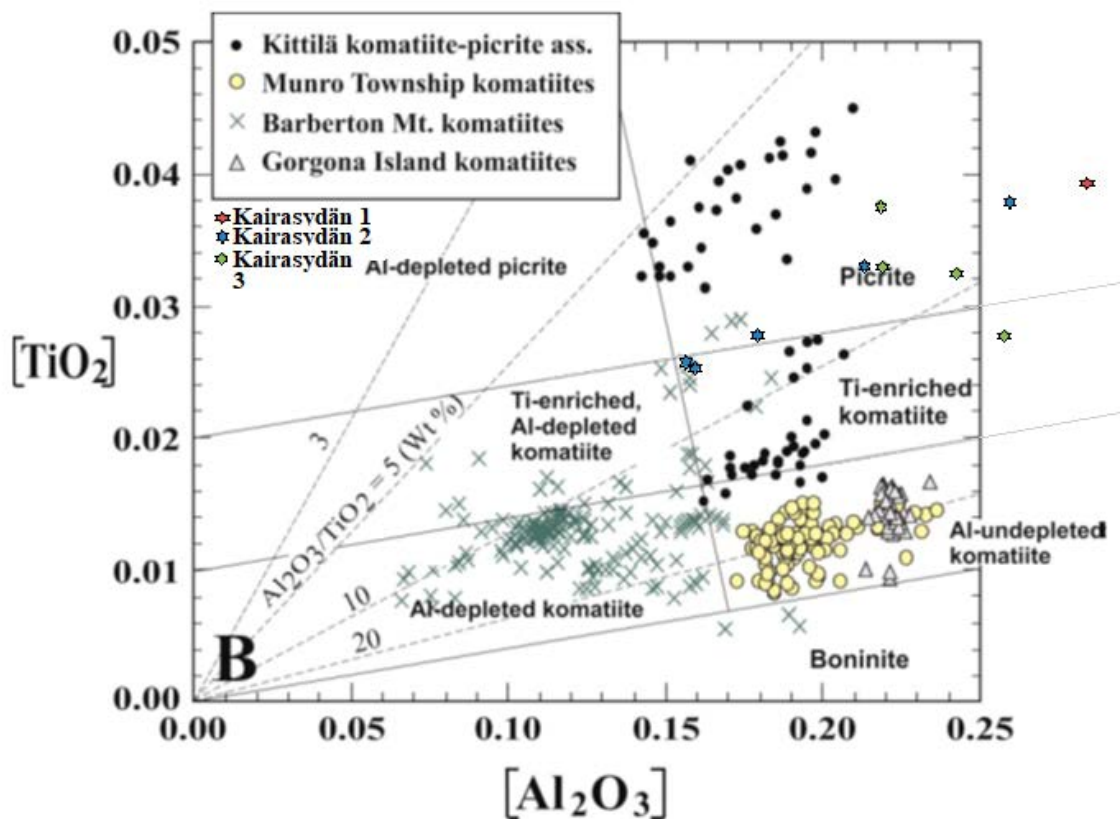
Kuvassa 24 esitettyjen kairasydämien 2 ja 3 yhteydessä esiintyy näytteitä, jotka ovat koostumukseltaan selkeästi ultraemäksisiä MgO-pitoisuuden ollessa jopa 29,1 p.-% (Taulukko 11). Sekä kairasydämessä 2 että 3 esiintyvien ultraemäksisten näytteiden TiO<sub>2</sub>-sekä REE-alkuainepitoisuudet ovat komatiittisten basalttien pitoisuuksia pienemmät. MgO-pitoisuuden laskiessa molempien kairasydänten komatiittisiksi basalteiksi ja komatiiteiksi luokitellut näytteet muodostavat selkeästi REE-komponenteista rikastuvan ja lähes yhtenäisen näytesarjan (Kuva 25).



**Kuva 25.** Kuvassa 24 esitettyjen kairasydämien 2 (KET15603) ja 3 (RIE16601) komatiittiset basaltit ja komatiitit vertailtuna MgO-pitoisuuden ja kondriittinormalisoidun REE-jakauman mukaan.

Hanskin (1992) ja Hanskin et al. (2001) esittämän MgO-rikkaiden kivilajien  $[Al_2O_3]$  vs.  $[TiO_2]$  -luokitteludiagrammin mukaan Kuvassa 24 kuvattujen kairasydämien 1,2 ja 3 komatiittiset ja komatiittiset basalttinäytteet sijoittuvat selkeästi Ti-rikastuneiden komatiittien ja pikriittien kenttiin (Kuva 26). Diagrammin ulkopuolelle sijoittuvat komatiittiset basaltit kairasydäimestä 1 (FIEXC102888) ja 2 (FIKIO112876) sekä talkkikloriittiliuske kairasydäimestä 3 (FIKIO112881), jonka MgO-pitoisuus on 17,7 p.-%. Syynä on todennäköisesti näiden näytteiden sekundäärinen muuttuminen.

Kairasydämien 1,2 ja 3 näytteillä on suhteellisen laajaa hajontaa Kuvan 26 diagrammilla, mutta niiden Al-köyhtymätön ja Ti-rikastunut olemus tulee hyvin esille. Edellä mainituille näytteille Hanskin (1992) ja Hanskin et al. (2001) mukaan määritetyt  $Al_2O_3$ -osuudet vastaavat osittain Kittilän alueella esiintyviä komatiitti-pikriittiassosiaation vulkaniittieja, Munro Townshipin komatiitteja ja Gorgona saaren komatiitteja, kun taas  $TiO_2$ -osuuden perusteella sijoittuvat lähelle Kittilän alueella esiintyneitä Ti-rikastuneita komatiitteja sekä pikriittejä.



**Kuva 26.**  $[Al_2O_3]$  vs.  $[TiO_2]$  -diagrammi MgO-rikkaiden vulkaniittien luokittelemiseksi.  $[Al_2O_3]$  ja  $[TiO_2]$  ovat oliiviinin koostumuksesta projisoidut molaariset  $Al_2O_3$ - ja  $TiO_2$ -osuudet laskettuna seuraavasti:  $[Al_2O_3] = Al_2O_3/(2/3-MgO-FeO)$  ja  $[TiO_2] = TiO_2/(2/3-MgO-FeO)$  (Hanski, 1992; Hanski et al., 2001). Kuvaan on sijoitettu kairasydämien 1,2 ja 3 ultraemäksisen ja komatiittisten basalttien lisäksi analyysijä Kittilän alueen, Barberton Mountain Landin ja Munro Townshipin vihreäkivivyöhykkeiden ja Gorgona-saaren MgO-rikkaista vulkaniiteista. (Kuva: henkilökohtainen tiedonanto, E. Hanski, 2016)

**Taulukko 11.** Vesmajärven muodostumaan luokiteltujen komatiittisten basalttien ja komatiittisten laavojen keskiarvopitoisuuksia, tilastollisia tunnuslukuja sekä vertailulukuja Vesmajärven muodostuman basaltteihin nähden.

	Lukumäärä	Keskiarvo	Mediaani	Pienin arvo	Suurin arvo	Keskihajonta	Suhde vesmajärven basaltteihin
SiO <sub>2</sub> %	7	39,63	39,25	34,2	45,02	3,06	0,89
TiO <sub>2</sub> %	7	1,09	0,99	0,72	1,55	0,29	0,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	7	9,99	10,77	5,93	14,32	3,2	0,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	7	13,17	13,6	11,6	13,7	0,77	1,09
MnO %	7	0,16	0,17	0,11	0,2	0,03	0,9
MgO %	7	19,43	17,7	12,2	29,1	5,76	2,77
CaO %	7	6,3	6,84	1,46	8,56	2,26	0,74
Na <sub>2</sub> O %	7	0,33	0,07	0,015	1,95	0,66	0,12
K <sub>2</sub> O %	7	0,03	0,021	0,016	0,097	0,03	0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	7	0,1	0,101	0,064	0,14	0,03	0,86
Cr ppm	7	1613	1340	567	2930	833,32	8,53
Ni ppm	7	858,14	997	243	1570	407,65	8,53
Co ppm	7	81,21	85,4	45,6	106	20,67	1,79
Sc ppm	7	28,56	28,7	17,3	39,9	7,95	0,66
V ppm	7	197,39	183	69,7	322	91,31	0,61
Zr ppm	7	39,94	27,1	9,86	80,1	25,17	0,95
La ppm	7	6,21	6	3,9	9	2,17	1,2
Sm ppm	7	2,82	2,91	1,71	3,81	0,81	0,95
Ba ppm	6	8,74	3,34	2,5	35,6	12,03	0,08
Rb ppm	1	2,9	2,9	2,9	2,9	0	0,56
Sr ppm	7	53,96	26,3	15	216	66,86	0,33
Cd ppm	2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,37
Ce ppm	7	15,53	15,5	9,6	21,4	5,01	1,21
Dy ppm	7	2,76	3	1,2	4	0,97	0,67
Er ppm	7	1,41	1,57	0,58	2,01	0,51	0,58
Eu ppm	7	1,06	0,82	0,3	2,47	0,65	0,99
Gd ppm	7	3,04	3,24	1,61	4,15	0,93	0,83
Ho ppm	7	0,54	0,61	0,22	0,77	0,19	0,63

	Lukumäärä	Keskiarvo	Mediaani	Pienin arvo	Suurin arvo	Keskihajonta	Suhde vesmajärven basaltteihin
Lu ppm	7	0,16	0,19	0,08	0,24	0,05	0,53
Nd ppm	7	10,53	10,7	6,5	14,2	3,15	1,07
Pr ppm	7	2,26	2,3	1,4	3,1	0,7	1,13
Sb ppm	6	1,93	0,6	0,3	8,6	2,99	0,92
Tb ppm	7	0,48	0,52	0,23	0,68	0,16	0,75
Tm ppm	7	0,19	0,22	0,08	0,27	0,07	0,56
Yb ppm	7	1,13	1,3	0,52	1,65	0,39	0,53
Be ppm	3	0,62	0,624	0,504	0,744	0,1	1,06
Y ppm	7	11,36	12,6	4,26	17	4,4	0,57
Li ppm	7	21,06	17,9	7,7	32	9,23	0,91
S ppm	7	757,67	263	67,7	2510	832,35	0,56
Cu ppm	7	101,51	83,9	66,1	180	37,28	1,08
Zn ppm	7	85,57	87,9	54,7	104	15,19	0,83
Fe#	7	0,39	0,41	0,3	0,48	0,07	0,64
Mg#	7	0,61	0,59	0,52	0,7	0,07	1,55
La <sub>N</sub> /Sm <sub>N</sub>	7	1,36	1,34	1,06	1,64	0,17	1,24

Kautoselän ja Vesmajärven muodostumiin rinnastettujen vulkaniittien lisäksi tutkimusalueella esiintyvät massiivisrakenteiset tholeiittiset basaltit FIKIO112585 ja FIKIO112586 vastaavat geokemialliselta koostumukseltaan osin Könkään muodostumaan ryhmitettyjä basaltteja; erityisesti komponenttien Ce, Rb, La, Yb, Sr, Zr, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ja TiO<sub>2</sub> pitoisuudet ovat samankaltaisia kuin Könkäällä esiintyvillä basalteilla (Taulukko 12). Edellä mainittujen näytteiden REE-alkuaineiden pitoisuudet ovat huomattavasti Vesmajärven muodostumaan kuuluvia basaltteja korkeammat; Zr-pitoisuus on 7.5-kertainen ja P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-pitoisuus on 11,6-kertainen, mutta MgO-pitoisuuden keskiarvo on vain noin puolet Vesmajärven basalttien keskiarvopitoisuudesta. Näytteet ovat geokemiallisen koostumuksen puolesta huomattavasti kehittyneempiä kuin Vesmajärven basaltit.

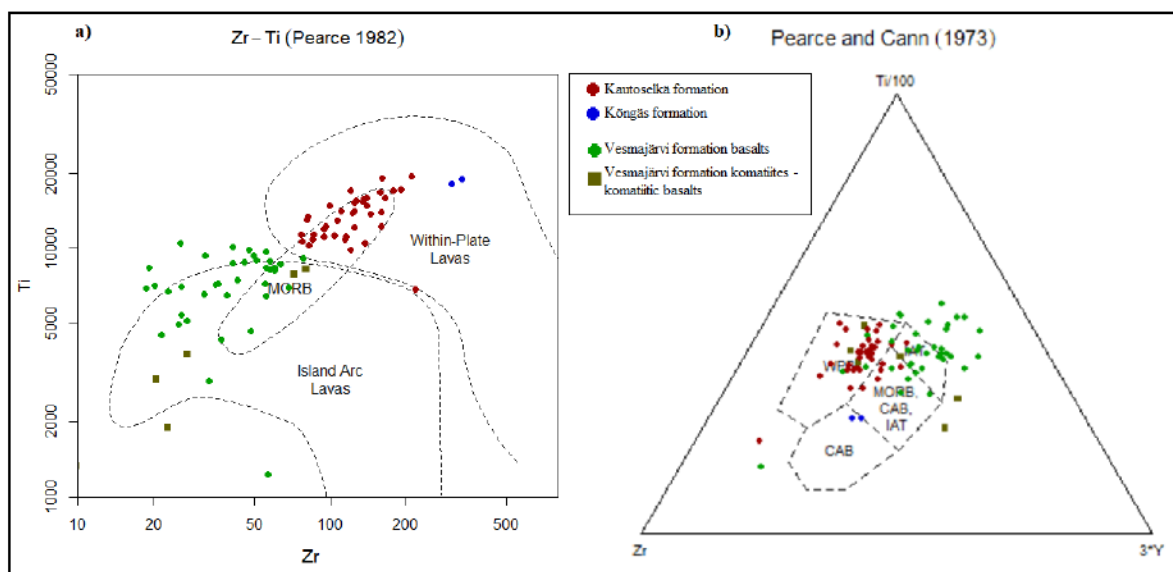
**Taulukko 12.** Kögäs-tyyppiseksi basalteiksi luokiteltujen näytteiden FIKIO112585 ja FIKIO112586 keskiarvopitoisuuksia, tilastollisia tunnuslukuja sekä vertailukajakappaleessa 3.1 kuvattuihin Kōnkään ja Vesmajärven muodostumaan kuuluvien basalttien koostumuksiin nähden.

	Lukumäärä	Keskiarvo	Pienin arvo	Suurin arvo	Suhde Kōnkään basaltteihin	Suhde Vesmajärven basaltteihin
SiO <sub>2</sub> %	2	44,9	43,96	45,84	1,02	1,01
TiO <sub>2</sub> %	2	3,005	2,9	3,11	1,39	2,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	2	12,895	12,59	13,2	0,92	0,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	2	17,4	16,5	18,3	1,25	1,44
MnO %	2	0,2725	0,26	0,29	1,35	1,52
MgO %	2	3,92	3,81	4,03	0,7	0,56
CaO %	2	4,635	4,59	4,68	0,57	0,54
Na <sub>2</sub> O %	2	2,75	2,5	3	0,94	1,03
K <sub>2</sub> O %	2	0,566	0,49	0,64	1,49	2,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	2	1,315	1,31	1,32	5,1	11,61
Cr ppm	2	9,465	7,23	11,7	0,07	0,05
Ni ppm	2	5,68	4,5	6,86	0,08	0,06
Co ppm	2	21,6	21,5	21,7	0,54	0,48
Sc ppm	2	26,85	26,8	26,9	0,77	0,62
V ppm	2	108,5	106	111	0,27	0,34
Zr ppm	2	316,5	301	332	2,52	7,5
La ppm	2	42,2	39,7	44,7	2,72	8,13
Sm ppm	2	16,31	16,29	16,33	2,63	5,49
Ba ppm	2	248,5	191	306	1,79	2,39
Rb ppm	2	22,85	18,8	26,9	2,52	4,44
Sr ppm	2	108	106	110	0,51	0,65
Cd ppm	2	0,2	0,2	0,2	0,88	0,74
Ce ppm	2	104,6	100	109,2	2,78	8,13
Dy ppm	2	15,2	14,9	15,5	2,58	3,69
Er ppm	2	7,78	7,63	7,93	2,5	3,18
Eu ppm	2	5,565	5,55	5,58	2,79	5,22
Gd ppm	2	17,495	17,37	17,62	2,7	4,78
Ho ppm	2	2,99	2,94	3,04	2,6	3,51
Lu ppm	2	0,905	0,89	0,92	2,43	2,95
Nd ppm	2	65,7	64,7	66,7	2,69	6,68
Pr ppm	2	14,5	14,1	14,9	2,71	7,24
Sb ppm	2	2,5	2,3	2,7	1,65	1,2

Tb ppm	2	2,67	2,64	2,7	2,61	4,12
Tm ppm	2	1,045	1,02	1,07	2,5	3,12
Yb ppm	2	6,275	6,17	6,38	2,44	2,95
Be ppm	2	2,38	2,25	2,51	2,41	4,03
Y ppm	2	69,15	69	69,3	2,62	3,46
Li ppm	2	13,65	13,6	13,7	0,85	0,59
S ppm	2	1391	662	2120	1,22	1,03
Cu ppm	2	8,605	6,21	11	0,11	0,09
Zn ppm	2	123,55	95,1	152	1,09	1,2
Fe#	2	0,8	0,8	0,8	1,16	1,32
Mg#	2	0,2	0,2	0,2	0,65	0,51
La <sub>N</sub> /Sm <sub>N</sub>	2	1,62	1,52	1,71	1,05	1,47

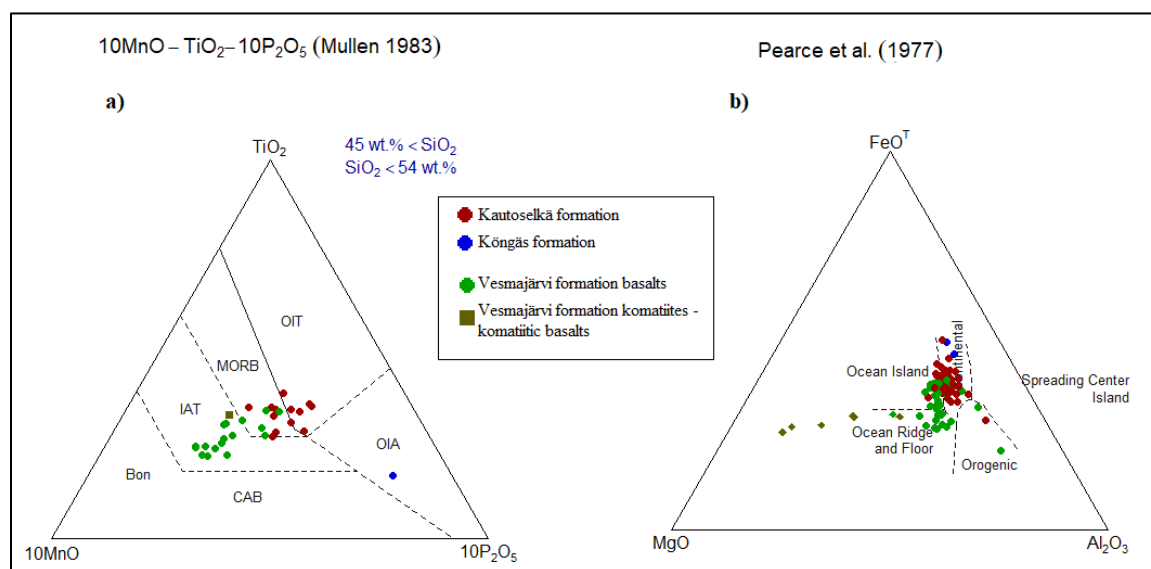
#### 5.4. Geotektoninen luokittelu

Vesmajärven, Kautoselän ja Könkään muodostumat ryhmittyvät selkeästi omiksi ryhmikseen sellaisilla geotektonisilla luokitteludiagrammeilla, kuten Ti vs. V, Zr vs. Ti, Zr vs. (Zr/Y),  $10xMnO-TiO_2-10xP_2O_5$  ja  $MgO-FeO-Al_2O_3$ .



**Kuva 27.** Tutkimusalueen vulkaniittien sijoittuminen (a) Pearcen (1982) sekä (b) Pearcen ja Cannin (1973) geotektonisille luokitteludiagrammeille.

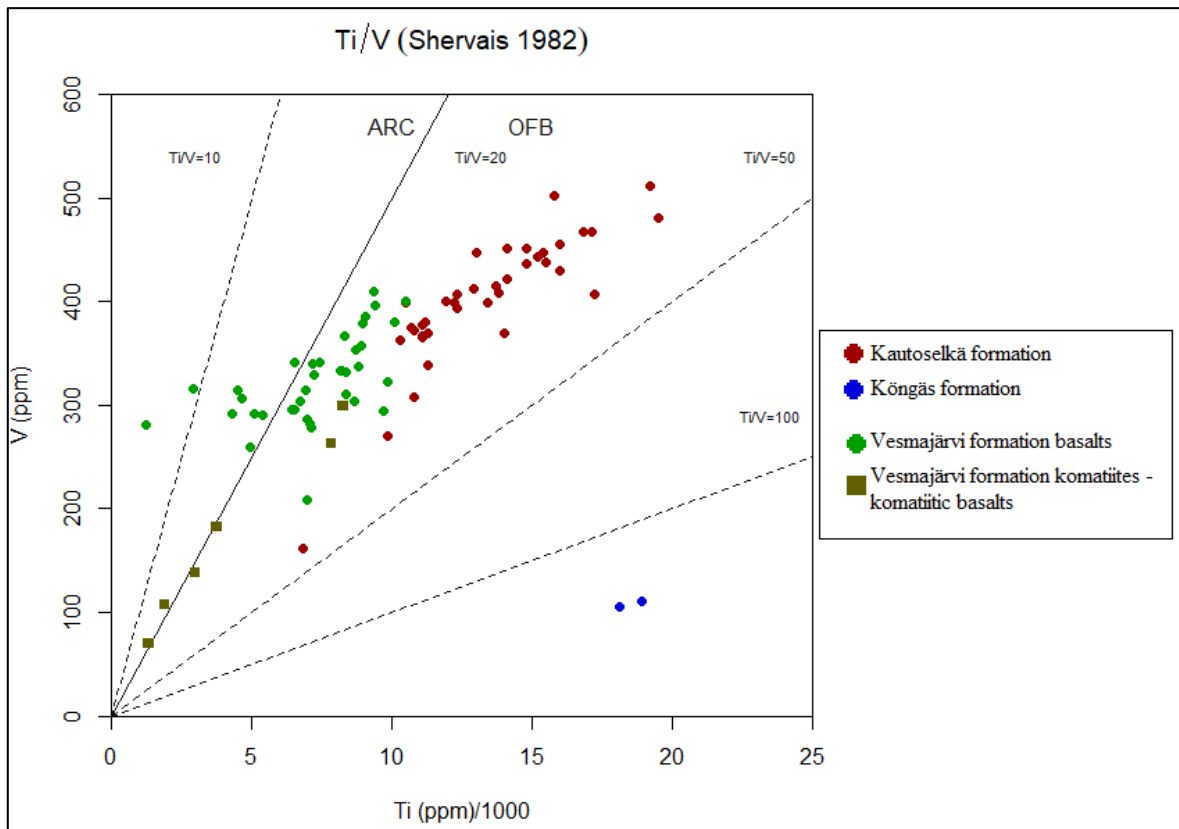
Kuvien 27a ja 27b diagrammien mukaan Kautoselän muodostumaan rinnastetut vulkaniitit sijoittuvat pääasiallisesti laatan sisäisten basalttien kenttään (within-plate lavas/basalts). Laatan sisäisiä basaltteja vastaavan koostumuksen lisäksi kuvan 27a diagrammissa valtaosa Kautoselän vulkaniiteista sijoittuu myös valtameren keskiselänteiden basalttien kenttään. Vesmajärven muodostumaan rinnastetuilla vulkaniiteilla on luokitteludiagrammeilla laajempi hajonta. Ne sijoittuvat kuvan 27a diagrammissa vallitsevasti vulkaanisten saarikaarten kenttään sekä osittain valtameren keskiselänteiden basalttien kenttään. Myös Pearcen ja Cannin (1973) luokitteludiagrammilla (Kuva 27b) Vesmajärven basaltit painottuvat vulkaanisten saarikaarten tholeiittien kenttään. Könkään ryhmään rinnastetut näytteet erottuvat kuvan 27a diagrammissa laatan sisäisten basalttien tyyppisinä vulkaniitteina, kun taas kuvan 27b diagrammissa ne edustavat selkeästi muista poikkeavia, kalkkialkalisia basaltteja.



**Kuva 28.** Tutkimusalueen vulkaniittien jakautuminen (a) Mullenin (1983) ja (b) Pearcen et al. (1977) luokitteludiagrammeilla.



Myös kuvan 28a  $10xMnO-TiO_2-10xP_2O_5$ -diagrammilla Vesmajärven muodostumaan rinnastetut vulkaniitit sijoittuvat vallitsevasti vulkaanisten saarikaarten kenttään ja  $MgO-FeO-Al_2O_3$ -diagrammilla (Kuva 28b) valtameren selänteiden ja pohjan basalttien kenttään. Kautoselän muodostumaan rinnastetut näytteet jakautuvat Kuvan 28a diagrammissa vulkaanisten saarikaarten tholeiittisten basalttien ja valtameren keskiselänteiden basalttien kenttään. Kuvan 28b diagrammissa Kautoselän näytteet jakautuvat vulkaanisten saarten ja mantereisten basalttien kenttään. Kautoselän muodostumaan rinnastetut vulkaniitit erottuvat Vesmajärven vulkaniiteista Kuvan 28b diagrammissa selvästi mantereisia basaltteja vastaavien piirteiden johdosta. Kōnkään ryhmään rinnastetut näytteet erottuvat erityisen selkeästi korkean  $P_2O_5$ -arvonsa perusteella Kuvassa 28a, jossa ne sijoittuvat vulkaanisten saarten alkalibasalttien kenttään.



**Kuva 29.** Tutkimusalueen vulkaniittien jakautuminen Shervaisin (1982) Ti vs. V - luokitteludiagrammilla.

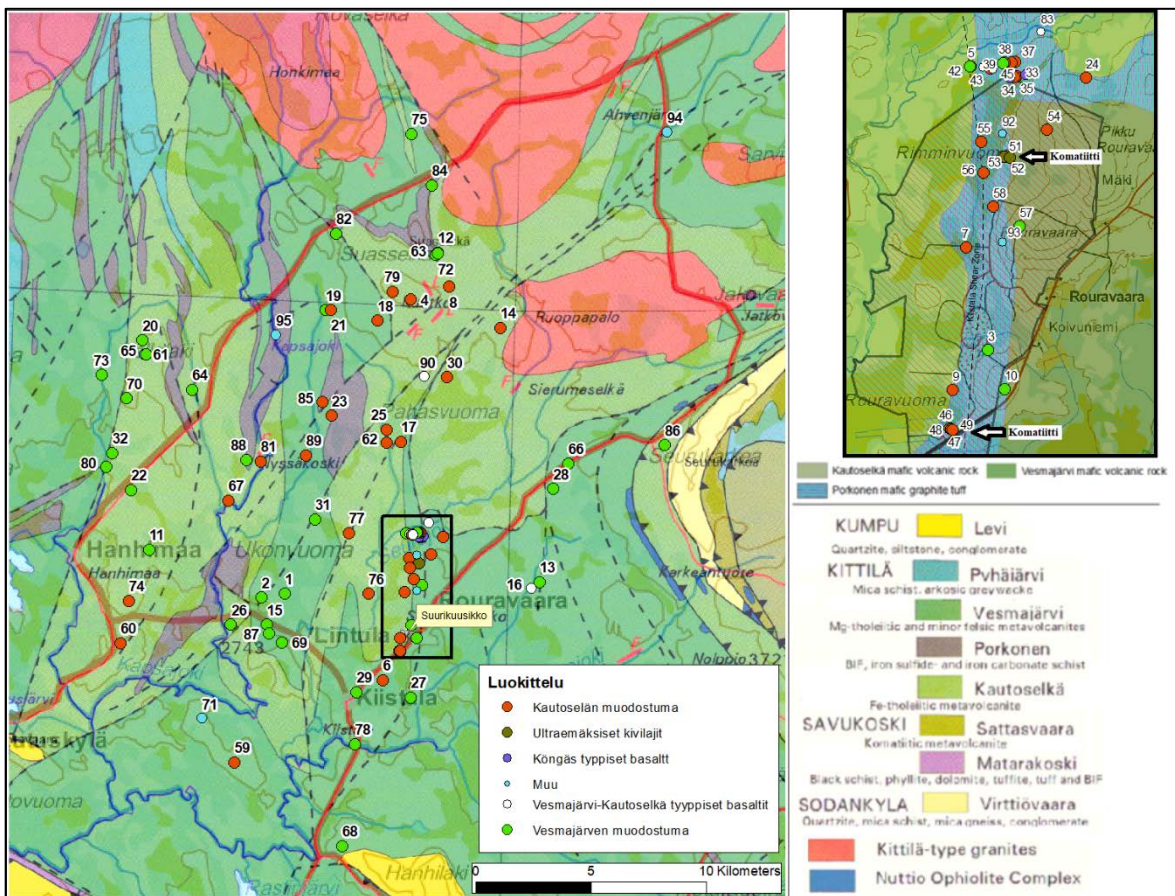
Shervaisin (1982) Ti vs. V -luokitteludiagrammin mukaan (Kuva 29) Kautoselän muodostumaan rinnastetut vulkaniitit vastaavat valtameren pohjan basalttien koostumusta (OFB). Kautoselän muodostuman vulkaniitit erottuvat Vesmajärveen rinnastetuista vulkaniiteista niiden selkeästi korkeampien Ti-pitoisuuksien ansiosta.

Vesmajärven basaltit vastaavat vulkanisten saarikaarten (ARC) sekä valtameren pohjan basalttien koostumuksia. Valtaosa Vesmajärven muodostuman ultraemäksisistä kivistä sijoittuu ARC- ja OFB-basalttien rajalle ja eroaa muista ryhmän basalteista niiden alhaisen Ti- ja V-pitoisuuden takia. Könkään muodostumaan ryhmitetyt analyytit eroavat muista erityisen korkeina Ti-pitoisuuksina (Ti/V-suhde reilusti yli 100).

## 6. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimusalueen mafiset ja ultramafiset vulkaniitit voidaan luokitella selkeiden geokemiallisten erojen perusteella Lehtosen et al. (1998) ja Hanskin ja Huhman (2005) kuvaamiin Vesmajärven, Kautoselän sekä Könkään muodostumiin. Ohuthietutkimuksen perusteella Kautoselän tai Vesmajärven muodostumiin rinnastettujen tholeiittisten basalttien välillä ei ole havaittavissa tunnistettavaa mineralogista tai tekstuurillista vaihtelua.

Kautoselän muodostumaan rinnastetut näytteet ovat koostumukseltaan Fe-tholeiittisia massiivisia ja tyynyarakenteisia basalteja yhtä kalkki-alkalista basalttia ja tholeiittista andesiittia lukuun ottamatta. Geokemiallisten analyyysien perusteella Kautoselän muodostumaan on rinnastettu 39 näytettä (esitetty punaisina pisteinä Kuvan 30 kartassa).



**Kuva 30.** Tutkielmassa käsiteltyjen näytteiden jakautuminen Kittilän sviitin alueelle. Vasemmanpuoleisen kartan kallioperä Lehtonen et al. (1998) mukaan ja oikeanpuoleinen kartta GTK:n Bedrock of Finland-DikiKp, 2016 –kartan mukaan. Näytteiden analyysinumerot esitetty Taulukossa 13.

**Taulukko 13.** Kuvassa 30 numeroitujen näytteiden näytetunnukset.

Numero	Näytetunnus	Numero	Näytetunnus	Numero	Näytetunnus
1	FIEXC102851	33	FIKIO112579	65	FIEXC102901
2	FIEXC102853	34	FIKIO112583	66	FIEXC102902
3	FIEXC102854	35	FIKIO112585	67	FIEXC102903
4	FIEXC102855	36	FIKIO112586	68	FIEXC102904
5	FIEXC102856	37	FIKIO112815	69	FIEXC102905
6	FIEXC102857	38	FIKIO112821	70	FIEXC102906
7	FIEXC102858	39	FIKIO112822	71	FIEXC102907
8	FIEXC102859	40	FIKIO112825	72	FIEXC102908

Numero	Näytetunnus	Numero	Näytetunnus	Numero	Näytetunnus
9	FIEXC102860	41	FIKIO112826	73	FIEXC102909
10	FIEXC102861	42	FIKIO112829	74	FIEXC102910
11	FIEXC102862	43	FIKIO112837	75	FIEXC102911
12	FIEXC102863	44	FIKIO112841	76	FIEXC102912
13	FIEXC102866	45	FIKIO112842	77	FIEXC102914
14	FIEXC102867	46	FIKIO112844	78	FIEXC102915
15	FIEXC102868	47	FIKIO112845	79	FIEXC102916
16	FIEXC102869	48	FIKIO112849	80	FIEXC102917
17	FIEXC102871	49	FIKIO112876	81	FIEXC102918
18	FIEXC102874	50	FIKIO112877	82	FIEXC102919
19	FIEXC102876	51	FIKIO112881	83	FIEXC102920
20	FIEXC102877	52	FIKIO112883	84	FIEXC102921
21	FIEXC102878	53	FIKIO112885	85	FIEXC102922
22	FIEXC102879	54	FIKIO112887	86	FIEXC102923
23	FIEXC102880	55	FIKIO112888	87	FIEXC102865
24	FIEXC102881	56	FIKIO112891	88	FIEXC102886
25	FIEXC102883	57	FIKIO112893	89	FIEXC102887
26	FIEXC102884	58	FIKIO112894	90	FIEXC102891
27	FIEXC102885	59	FIEXC102894	91	FIKIO112879
28	FIEXC102888	60	FIEXC102895	92	FIKIO112886
29	FIEXC102889	61	FIEXC102897	93	FIKIO112892
30	FIEXC102890	62	FIEXC102898	94	FIEXC102896
31	FIEXC102892	63	FIEXC102899	95	FIEXC102913
32	FIEXC102893	64	FIEXC102900		

Kautoselän muodostuman vulkaniitit erovat Vesmajärven muodostuman vulkaniiteista selkeästi korkeammilla pääalkuaineoksidien  $K_2O$ ,  $TiO_2$  ja  $P_2O_5$  ja hivenalkuaineiden Zr, Ce, Eu, Gd, La, Nb, Pr, Pb, Rb, Sm, Tb, Ba ja Be pitoisuuksilla, jotka ovat jopa kolminkertaisia. Kautoselän muodostuman kondriittinormalisoitu REE-jakauma on huomattavasti Vesmajärven muodostumaan kuuluvia vulkaniitteja jyrkempi (Kuva 31). Kautoselän muodostumaan rinnastetut vulkaniitit ovat selkeästi rikastuneita LREE-alkuaineista, sillä

arvot ovat noin 40-100 kertaisia kondriittiin verrattuna, kun taas Vesmajärven LREE-arvot ovat noin 10-40 kertaisia.

Geotektonisen luokituksen mukaan Kautoselän muodostuman basaltit vastaavat lähes yksinomaan laatan sisäisiä basaltteja. Näytteiden kontinentaalinen koostumus viittaa todennäköisesti vulkaniittien kerrostumiseen passiivisen laatan reunan ympäristössä (Melezhik & Hanski, 2012). Myös EMORB- ja NMORB-normalisoidulta spider-diagrammilta ilmenee selkeästi Vesmajärven muodostumaa korkeammat HFSE-alkuaineiden Zr ja Ti pitoisuudet, jotka ovat liian suuria aiheutuakseen pelkästään kontaminaatiosta silloisen mantereisen kuoren kanssa. Tätä väitettä tukee myös aiemmat tutkimukset Kittilän alueelta (Lehtonen et al., 1998; Hanski & Huhma, 2005). Kautoselän muodostumaan rinnastettujen tyynylaavojen ja niissä esiintyvien jaspisfragmenttien puolesta voidaan todeta, että synty-ympäristö on ollut ainakin osittain merellisessä ympäristössä. Merenpohjaan muodostuneet tyynylaavat ovat paikoin breksioineet ja sulkeneet sisälleen fragmentteja merenpohjalle kerrostuneita kemiallisia sedimenttejä, kuten jaspista.

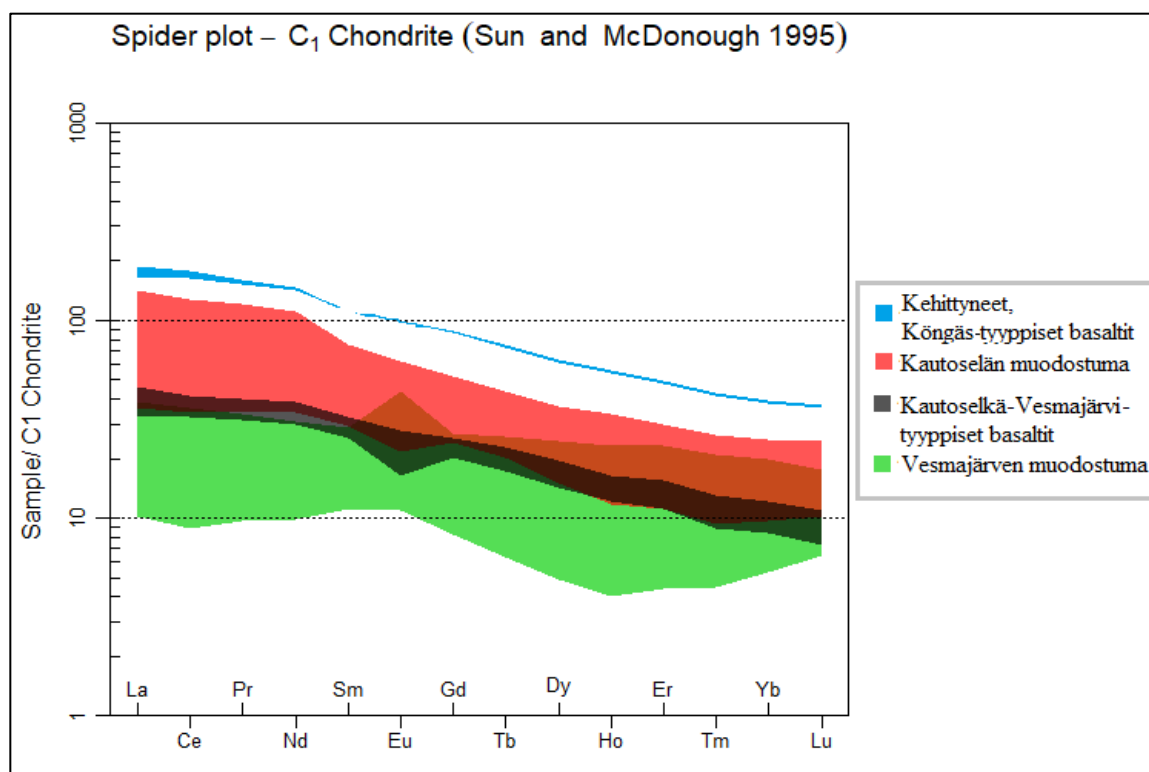
Valtaosa Kautoselän muodostumaan rinnastetuista Fe-tholeiittisistä näytteistä sijoittuu tutkimusalueella Kiistalan sekä Hanhimaan kylien kautta kulkevien, Pokkaan johtavien teiden väliselle alueelle, joka käsittää suuria suoalueita, kuten Ukonvuoman ja Pahasvuoman (Kuva 29). Kautoselän muodostumaan rinnastettavia vulkaniitteja esiintyy vallitsevasti myös Pahasvuoman pohjoispuolella sijaitsevalla Kuotkon alueella sekä Hanhimaan kylän eteläpuolella sijaitsevalla Kiimavaaran alueella (Kuva 30).

Agnico Eagle Finland Oy:n operoiman Suurikuusikon kaivospiirin alueella vallitsevana kivilajina esiintyvät Fe-tholeiittiset basaltit, kuten myös Aho (2009) on aiemmin todennut. Kaivospiirin alueella Vesmajärven muodostumaan rinnastetut vulkaniitit ovat koostumukseltaan sekä Mg- ja Fe-tholeiittisiä basaltteja. Ultraemäksisiä kumulaatteja sekä laavoja esiintyy kairasydämissä Suurikuusikon kaivospiirin eteläosassa, Ketolan alueella sekä kaivospiirin pohjoisosassa Pikku Rouravaaran länsipuolella.

Tyypillinen Kautoselän, kuten myös Vesmajärven muodostumaan rinnastetun basalttisen vulkaniitin mineraaliseurue koostuu hyvin hienorakeisesta tremoliitti-aktinoliittisarjan

amfibolista, mikroliittisestä plagioklaasista/albiitista, epidootista sekä kloriitista ja karbonaatista, jotka esiintyvät usein myös raontäytteinä. Mg-tholeiittisissa basaltteissa esiintyy myös kuitumaista serpentiiniä ja kalkki-alkalisissa basalteissa epidootia esiintyy runsaimmin. Tekstuuriltaan basaltit ovat pilotaksisia tai trakyyttisiä sekä rakenteeltaan paikoin venyneitä ja breksioituneita.

Kautoselän ja Vesmajärven muodostumaan rinnastettujen basalttien geokemiallisella koostumuksella ei ole tarkkaa tai selkeää rajaa, vaan ne muodostavat lähes yhtenäisen ja tasaisesti REE-alkuaineista köyhtyvän näytesarjan. Kuvassa 31 on esitetty ”Kautoselkä-Vesmajärvi-tyyppisten basalttien” näytejoukko, joka asettuu edellä mainittujen muodostumien koostumuksien väliin ja näin ollen vastaa osittain kumpienkin muodostumien koostumuksia. Tämä ryhmä koostuu viidestä näytteestä (FIEXC102869, FIKIO112837, FIKIO112842, FIEXC102920 ja FIEXC102891), jotka sijoittuvat tutkimusalueen itä- ja keskiosiin (kuvattu valkoisilla ympyröillä Kuvan 30 kartassa).



**Kuva 31.** Kuvassa 30 esitettyjen näytteiden kentät kondriittinormalisoidulla REE-diagrammilla. Normalisointiarvot Sunin ja McDonoughin (1995) mukaan.

Vesmajärven muodostumaan on rinnastettu yhteensä 37 näytettä (vihreät pisteet Kuvan 30 kartassa), joista 34 ovat koostumukseltaan joko Fe- tai Mg-tholeiittisia basaltteja, yksi näyte on kalkki-alkalinen basaltti ja yksi andesiitti. Vesmajärven muodostumaan on rinnastettu lisäksi yksi komatiittinen basaltti (FIEXC102888). Fe- ja Mg-tholeiittiset basaltit, joista Mg-tholeiittinen on muodostumaan rinnastetuista basalteista vallitseva, ovat pääasiallisesti Kautoselän muodostumaan rinnastettuja vulkaniitteja Mg-rikkaampia. Vesmajärven muodostumaan rinnastettujen vulkaniittien koostumuksessa vain Cr ja Mg ovat selkeästi Kautoselän basaltteja korkeammat. Lähes tasaisesta LREE-alkuaineden jakaumasta kertoo myös kondriittinormalisoidun lantanidin ja samariumin suhteen keskiarvo 1,10, kun vastaavasti Kautoselän muodostuman vulkaniiteille se on huomattavasti korkeampi, 1,54. Vesmajärven muodostumaan rinnastetut vulkaniitit ovat massiivisia ja tyynyarakenteisia basaltteja ja jakautuvat pääasiallisesti tutkimusalueen länsi-, pohjois- ja itäosan lisäksi lähelle Suurikuusikon lounaispuolella sijaitsevaa Lintulan kylää (Kuva 30). Hanhimaalla esiintyvät massiiviset sekä tyynyarakenteiset laavat ovat paikoin voimakkaasti muuttuneita ja köyhtyneitä HREE-alkuaineista, mutta niiden keveiden maametallien pitoisuudet vastaavat Vesmajärven muodostumalle tyypillisiä arvoja. Hanhimaan havaintoja tukevat myös Saalmannin ja Niirasen (2010) ja osittain Kämäräisen (2014) tekemät tutkimukset alueelta. NMORB- ja EMORB-normalisoitujen spider-diagrammien ja geotektonisten luokitteludiagrammien, kuten esimerkiksi Zr vs. Ti-diagrammin mukaan Vesmajärven muodostumaan rinnastetut basaltit vastaavat valtamerten keskiselänteiden basaltteja, mikä viittaa niiden syntyneen vaikutuksessa merelliseen litosfäärilaataan tai mantereiden repeämisen yhteydessä. Hanskin ja Huhman (2005) mukaan NMORB-tyyppisten vulkaniittien harvinaisuuden takia valtaosa Kittilän sviitin vulkaniiteista olisivat muodostuneet valtameren keskiselänteen basalttien sijaan merellisessä ympäristössä purkautuneita laakiobasaltteja tai pluumitoiminnan vaikutuksen alaisena olleesta selänteen segmentistä purkautunutta basalttia.

Vaikkakin Jensenin (1976) kationidiagrammin mukaan komatiiteiksi luokitellut ultraemäksiset kivilajit luokiteltiin yllä kuuluvaksi Vesmajärven muodostumaan, tulisi niihin



suhtautua erillisenä näyteryhmänä. Kaivosalueen eteläosaan kairatussa kairasydämessä esiintyvät ultraemäksiset näytteet ovat rakenteeltaan oliviini-ortokumulaattisia ja oliviiniporfyyrisiä, täysin amfiboliutuneita ja serpentiniittiytyneitä laavoja. REE-alkuaineiden pitoisuudet kasvavat selkeästi MgO-pitoisuuden laskiessa, mikä viittaa oliviiniporfyyrisen (FIKIO112847) laavan fraktioituneen samasta magmasta kuin komatiittinen oliviiniortokumulaatti (FIKIO112849). Myös edellä mainituissa näytteissä esiintyvistä Al- ja Fe-kromiitteista tehdyt mikroanalyytit kertovat hyvin samanlaisesta magman koostumuksesta. Näytteissä esiintyvät kromiitit ovat todennäköisesti ainoita primääreinä säilyneitä mineraaleja ja niiden lähes huomaamaton tai hyvin ohut Ti-magnetiittireunus osoittaa hyvin vähäistä muuttumista.

Komatiittisiksi basalteiksi ja komatiiteiksi luokiteltujen näytteiden kondriittinormalisoitu REE-jakauma on poikkeava Savukosken ryhmän komatiitteihin verrattuna, joihin esimerkiksi Jeesiörovan ja Peuranmaan komatiitit kuuluvat (Hanski & Kamenetsky, 2013). Jeesiörovan komatiittien (17-EJH-97 ja 12D-PPR-97) voimakkaasti köyhtyneet LREE- ja kohtalaisesti köyhtyneet HREE-arvot muodostavat kyttyrämaisen REE-jakauman, kun taas Suurikuusikon kaivospiirissä esiintyvät komatiittiset laavat ovat voimakkaasti LREE-rikastuneita ja niiden jakauma on selkeästi laskeva. Suurikuusikon kaivospiirissä esiintyvien komatiittisten näytteiden geokemiallinen koostumus on myös hieman TiO<sub>2</sub>-rikkaampi, ja koostumukseltaan ne vastaavatkin pikriittejä tai Ti-rikastuneita komatiitteja. Niiden REE-jakauma muistuttaa vahvasti Savukosken ryhmään luokiteltua LREE-alkuaineista rikastunutta Peuranmaan pikriittistä laavaa 800-LVP-86 (Hanski & Huhma, 2005; Hanski & Kamenetsky, 2013). On mahdollista, että Suurikuusikon kaivospiirin alueella esiintyvät ultramafiset laavat olisivat fraktioituneet ja kumuloituneet kantamagmaltaan pikriittisestä laavasta. Ultraemäksisiä oliviinikumulaatteja on tavattu tutkimusalueella kaivospiirin lisäksi noin 6 kilometriä koillisessa Suurikuusikosta.

Kuvan 31 kondiittinormalisoidun REE-jakauman korkeimpina arvoina esiintyvät selkeästi Vesmajärven tai Kautoselän muodostumaan rinnastetuista basalteista eroava ryhmä ”Kehittyneet, Köngäs-tyyppiset basaltit”. Joukkoon rinnastetut kaksi näytettä (FIKIO112585 ja FIKIO112586) vastaavat komponenttien Ce, Rb, La, Yb, Sr, Zr, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>tot ja TiO<sub>2</sub>

osalta Hanskin ja Huhman (2005) kuvaamia Köngäs-tyyppisiä basaltteja. Kuitenkin lähes kaksinkertainen  $P_2O_5$ -pitoisuus K nk  n basaltteihin verrattuna on paremminkin tyypillinen Kittilän sviitiss  esiintyvillä lamprofyyrijuonille (Lehtonen et al., 1998). Edellä mainitut näytteet on kairattu Kittilän kunnassa sijaitsevan K nk  n kylän sijasta Suurikuusikon kaivosalueen pohjoisosasta noin 211 ja 700 metrin syvyydestä merenpinnan tasoon nähden (näytteet 35 ja 36, Kuvan 30 pikkukuvan yläosassa). Suurikuusikko sijaitsee K nk  n kylästä 24 kilometriä itäkoilliseen.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön yhteydessä kerätyn aineiston ja niille toteutetun petrologisen ja geokemiallisen kuvauksen perusteella voidaan todeta, että työn tavoite on saavutettu ja tutkimusalueella esiintyviä basalttisia vulkaniitteja voidaan selkeästi luokitella aiemmin määritettyihin Kautoselän ja Vesmajärven muodostumiin. Kittilän sviitin alueella, maksimissaan 30 kilometrin s  teell  Suurikuusikon kaivoksesta (Kittilän kultakaivos) sijaitsevall , noin 1220 km<sup>2</sup> laajuisella tutkimusalueella esiintyy useita toisistaan selkeästi erottuvia vulkaniittiyksik it . Alueella aiempienkin tutkimuksten perusteella olevien, Kautoselän ja Vesmajärven muodostumiin kuuluvien vulkaniittien lisäksi esiintyy myös ultraemäksisiä kumulaatteja ja laavoja sekä K nk  n muodostuman kehittyneitä basaltteja muistuttavia laavoja.

Lapin vulkaniittiprojektin yhteydessä laadittu kallioperäkartta (Lehtonen et al., 1998) on vähäiseen tutkimusaineistoon ja harvaan n ytetiheyteen nähden suhteellisen paikkaansa pitävä. Tosin on alueita, kuten esimerkiksi Hanhimaa, missä Vesmajärven rinnastettavia vulkaniitteja esiintyy aiempia tutkimuksia ja kallioperäkartan esitystä huomattavasti laajemmalla alueella.

On otettava huomioon, että tutkielmaan kerättyjen näytteiden tiheys yhdistettynä aiempiin Geologian tutkimuskeskuksen teettämään Lapin vulkaniittiprojektin aikaisiin ja

litogeokemiallisen kannan näytepisteisiin on edelleen hyvin harva alueen laajuuteen nähden. Tutkimusalueella kalliopaljastuneisuus on soisen maaston sekä paksujen moreeni- tai glasifluvialisten sedimenttikerrosten takia hyvin niukkaa, mikä tekee systemaattisesta ja tiheästä näytteenotosta hyvin hankalaa ja kallista. Kittilän sviitin sisäisen stratigrafian ja alueella esiintyvien ultraemäksisten kivilajien yhteyden selvittäminen Kittilän sviitin vulkaniitteihin vaatii tarkoitukseen kohdennettua kairausta, yksityiskohtaisempaa kairasydänten raportointia sekä näytteenottoa.

## 8. KIITOKSET

Haluan erityisesti kiittää ohjaajiani Jyrki Korteniemeä ( Agnico Eagle Finland Oy), professori Eero Hanskia ( Oulun yliopisto) sekä Tero Niirasta ja Tuomo Karista (Geologian tutkimuskeskus) hyvästä ohjauksesta, neuvoista ja kommentteista. Kiitos kuuluu myös Agnico Eagle Finlandin malminetsintä- ja kaivososaston geologeille Vesa Kortelaiselle, Pekka Kämäräiselle ja Jukka Välimaalalle sivistävistä geologisista keskusteluista ja mahdollisuudesta käyttää jo valmiina ollutta näyteaineistoa. Erityiskiitos kuuluu Johanna Paadarille, joka hoiti näytteiden valokuvaamisen sekä analyysitulaukset puolestani.

Haluan kiittää myös Marko Moilasta (Oulun yliopisto) suuresta avusta yliopistolla petrografisessa tutkimuksessa ja röntgenmikroanalyysointin käytössä.

Kiitän opiskelijatovereitani mielenkiintoisista keskusteluista ja kuluneiden opiskelijavuosien iloista. Erityiskiitos kuuluu myös vanhemmilleni sekä rakkaalle avopuolisolleni Jonna Mäkiselle ja suomenlapinkoira Hulille vankkumattomasta tuesta.

## 9. VIITELUETTELO

- Aho, P. 2009. Malmimineraloginen ja geokemiallinen vaihtelu kahdella Suurikuusikon kultakaivosalueen tutkimusprofiililla. Pro gradu –tutkielma, University of Oulu, 91 s.
- Arndt, N.T., Naldrett, A.J., Pyke, D.R. 1977. Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, northeast Ontario. *Journal of Petrology* 18, 319–369.
- Barnes, S.J. 1998. Chromite in komatiites, 1. Magmatic controls on crystallization and composition. *Journal of Petrology* 10, 1689–1720.
- Barnes, S.J., Tang, Z.L. 1999. Chrome spinels from the Jinchuan Ni–Cu sulphide deposit, Gansu Province, People’s Republic of China. *Economic Geology* 94, 343–356.
- Barnes, S. J., Roeder, P. L. 2001. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of Petrology* 42, 2279–2302.
- Hanski, E. J. 1992. Petrology of the Pechenga ferropicrites and cogenetic, Ni-bearing gabbro-wehrlite intrusions, Kola Peninsula, Russia. Geological Survey of Finland, Bulletin 367, 192 s.
- Hanski, E.S. 1997. The Nuttio serpentinite belt, central Lapland: an example of Paleoproterozoic ophiolitic mantle rocks in Finland. *Ofioliti*, 22, 35–46.
- Hanski, E., Huhma, H., Rastas, P., Kamenetsky, V.S. 2001. The Palaeoproterozoic komatiite–picrite association of Finnish Lapland. *Journal of Petrology* 42, 855–876.
- Hanski, E., Huhma, H. 2005. Central Lapland Greenstone Belt. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö, O.T. (toim.) *Precambrian Geology of Finland – Key to Evolution of the Fennoscandian Shield*. Elsevier, Amsterdam, s. 139–194.
- Hanski, E., Kamenetsky, V.S. 2013. Chrome spinel-hosted melt inclusions in Paleoproterozoic primitive volcanic rocks, northern Finland: Evidence for coexistence and mixing of komatiitic and picritic magmas. *Chemical Geology* 343, 25–37.
- Huhma, H., Hanski, E., Kontinen, A., Vuollo, J., Mänttari, I., Lahaye, Y. 2018. Sm–Nd and U–Pb isotope geochemistry of the Palaeoproterozoic mafic magmatism in eastern and northern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 405, 150 s.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548.
- Janousek, V., Farrow, C.M., Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47, 1255–1259.
- Jensen, L.S. 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 66, 22 s.
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J., Meffre, S. 2001 Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology* 42, 655–671.

- Konnunaho, J., Halkoaho, T., Hanski, E., Törmänen, T. 2015. –Komatiite-hosted Ni-Cu-PGE deposits in Finland. Teoksessa: Maier, W.D., Lahtinen, R., O'Brien, H. (toim.) *Mineral Deposits of Finland*, Elsevier, Amsterdam, s. 93-131.
- Korkalo, T. 2006. Gold and copper deposits in central Lapland, northern Finland, with special reference to their exploration and exploitation. *Acta Universita Ouluensis, Series A. Scientiae Rerum Naturalium* 461, 122 s.
- Kämäräinen, V.-P. 2014. Kittilän Kiimalaen alueen hydrotermisestä muuttuneista kivistä. Pro gradu -tutkielma, Maantieteen ja Geologian laitos, Turun yliopisto, 125 s.
- Kröner, A., Compston, W. 1990. Archaean tonalitic gneiss of Finnish Lapland revisited: zircon ion-microprobe ages. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 104, 348-352.
- Labtium Oy/Ab/Ltd. (2013) Exploration and Mining Method 175X. Tuote-esite.
- Labtium Oy/Ab/Ltd. (2014) Exploration and Mining Method 306PM. Tuote-esite.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lehtonen, M. I., Manninen, T., Rastas, P., Räsänen, J. 1992. On the early Proterozoic metavolcanic rocks in Finnish central Lapland. Correlation of Precambrian formations of the Kola-Karelian region and Finland. Apatity: Russian Academy of Sciences, Kola Science Center, s. 65-85.
- Lehtonen, M., Airo, M.-L., Eilu, P., Hanski, E., Kortelainen, V., Lanne, E., Manninen, T., Rastas, P., Räsänen, J. Virransalo, P. 1998. Kittilän vihreäkivialueen geologia. The stratigraphy, petrology, and geochemistry of the Kittilä greenstone area, northern Finland. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 140, 144 s.
- Luukas, J., Kousa, J., Nironen, M., Vuollo, J. 2017. Major stratigraphic units in the bedrock of Finland, and an approach to tectonostratigraphic division. Teoksessa: Nironen, M. (toim.) *Bedrock of Finland at the Scale 1:1 000 000 - Major Stratigraphic Units, Metamorphism and Tectonic evolution*. Geological Survey of Finland, Special Paper 60, 9-40.
- Melezhik, V.A., Hanski, E.J. 2012. Palaeotectonic and palaeogeographic evolution of Fennoscandia in the Early Palaeoproterozoic. Teoksessa: Melezhik, V.A., Prave, A.R., Hanski, E.J., Fallick, A.E., Lepland, A., Kump, L.R., Strauss, H. (toim.) *Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Volume 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, s. 111-178.
- McDonough, W. F., Sun, S.-S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223-253.
- Mikkola, A. 2006. Kittilän vihreäkivialueen happamat porfyirit. Pro gradu –tutkielma, Geotieteiden laitos, Oulun yliopisto, 119 s.
- Mullen, E.D. 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters* 62, 53–62.

- Niiranen, T., Lahti, I., Nykänen, V. 2015. Chapter 10.2 - The Orogenic Gold Potential of the Central Lapland Greenstone Belt, Northern Fennoscandian Shield Teoksessa: Maier, W.D., Lahtinen, R., O'Brien, H. (toim.) *Mineral Deposits of Finland*, Elsevier, Amsterdam, s. 733-752.
- Niiranen, T., Lahti, I., Nykänen, V., Karinen, T. 2014. Central Lapland Greenstone Belt 3D modelingproject final report. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 209, 78 s.
- Paakkola, J., Gehör, S. 1988. The lithofacies associations and sedimentary structures of the iron-formations in the early Proterozoic Kittilä greenstone belt, northern Finland. *Geological Survey of Finland, Special Paper*, 5, 213-238.
- Patison, N.L. 2007. Structural controls on gold mineralisation in the Central Lapland Greenstone Belt. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 44, 107–124.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E., Birkett, T.C. 1977. The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters* 36, 121–132.
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (toim.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley & Sons, Chichester, s. 525-548.
- Pearce, J.A., Norry, M.J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 69, 33–47.
- Pearce, J.A. 2014. Immobile element fingerprinting of ophiolites. *Elements* 10, 101-108.
- Saalmann, K., Niiranen, T. 2010. Hydrothermal alteration and structural control on gold deposition in the Hanhimaa shear zone and western part of the Sirkka Line. *Geological Survey of Finland, Report M19/2741/2010/58*, 35 s.
- Shervais, J.W. 1982. Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 101–118.
- Stevens, R.E. 1944 Composition of some chromites of the western hemisphere. *American Mineralogist* 29, 1-34.
- Sun, S.-S., McDonough, W.S. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325– 343.
- Wyche, N.L., Eilu, P., Koppström, K., Kortelainen, V.J., Niiranen T., Välimaa, J. 2015. The Suurikuusikko gold deposit (Kittilä Mine), northern Finland. Teoksessa: Maier, W.D., Lahtinen, R., O'Brien, H. (toim.) *Mineral Deposits of Finland*, Elsevier, Amsterdam, s. 411-433.



Zhou, M., Kerrich, R. 1992. Morphology and composition of chromite in komatiites from the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe. *Canadian Mineralogist* 30, 303–317.

Zhou, M.-F., Lightfoot, P.C., Keays, R.R., Moore, M.L., Morrison, G.G. 1997. Petrogenetic significance of chromian spinels from the Sudbury Igneous Complex, Ontario, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 34, 1405–1419.

Elektroniset lähteet:

DigiKP, Bedrock of Finland. 2016. Digital map database (Elektroninen lähde). Espoo: Geologian tutkimuskeskus (version päiväys 17.8.2016), Versio 2.1. Saatavissa osoitteessa: <https://hakku.gtk.fi/>.

Metamorfoosi 1:1 000 000. 2016. (Elektroninen lähde). Espoo: Geologian tutkimuskeskus (version päiväys 30.9.2016), Versio 1.0. Saatavissa osoitteessa: <https://hakku.gtk.fi/>.

Labtium Oy/Ab/Ltd. (2017) Sample preparation and analytical methods: Geochemistry, exploration and mining. Tuote-esite. [http://www.labtium.fi/wp-content/uploads/2017/07/Labtium\\_Sample\\_preparation\\_and\\_analytical\\_methods.pdf](http://www.labtium.fi/wp-content/uploads/2017/07/Labtium_Sample_preparation_and_analytical_methods.pdf)

Lentogeofysikaalinen magneettinen harmaasävykartta. 2013. (Elektroninen lähde). Espoo: Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa osoitteessa: <https://hakku.gtk.fi/>.

## LIITTEET

- |         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| Liite 1 | Ohuthieiden petrografinen kuvaus |
| Liite 2 | Geokemialliset analyysit         |
| Liite 3 | Mikroanalyysitulokset            |

The optical thin section study of the mafic and  
ultramafic volcanites in the Kittilä area,  
northern Finland

Mikko Nenonen

Appendix 1 of the Master's thesis

2018

## Table of contents

<b>INTRODUCTION</b> .....	3
FIEXC102862 .....	6
FIEXC102863 .....	7
FIEXC102868 .....	8
FIEXC102866 .....	9
FIEXC102869 .....	10
FIEXC102873 .....	11
FIEXC102876 .....	12
FIEXC102889 .....	13
FIEXC102885 .....	14
FIEXC102892 .....	15
FIEXC102893 .....	16
FIEXC102851 .....	17
FIEXC102855 .....	18
FIEXC102860 .....	19
FIEXC102867 .....	20
FIEXC102875 .....	21
FIEXC102883 .....	22
FIEXC102888 .....	23
FIEXC102890 .....	24
FIEXC102899 .....	25
FIEXC102910 .....	26
FIEXC102913 .....	27
FIEXC102922 .....	28
FIEXC102887 .....	29
FIEXC102861 .....	30
FIKIO112844 .....	31
FIKIO112847 .....	32
FIKIO112849 .....	33
FIEXC102914 .....	34
FIEXC102911 .....	35
FIEXC102904 .....	36
FIEXC102916 .....	37
FIEXC102921 .....	38
FIEXC102896 .....	39
FIEXC102908 .....	40

FIEXC102915 .....	41
FIEXC102894 .....	42
FIEXC102895 .....	43
FIEXC102898 .....	44
FIEXC102902 .....	45
FIEXC102918 .....	46
FIEXC102877 .....	47
FIEXC102886 .....	48
FIEXC102897 .....	49
FIEXC102856 .....	50
FIEXC102853 .....	51
FIEXC102854 .....	52
FIEXC102909 .....	53
FIEXC102917 .....	54

## INTRODUCTION

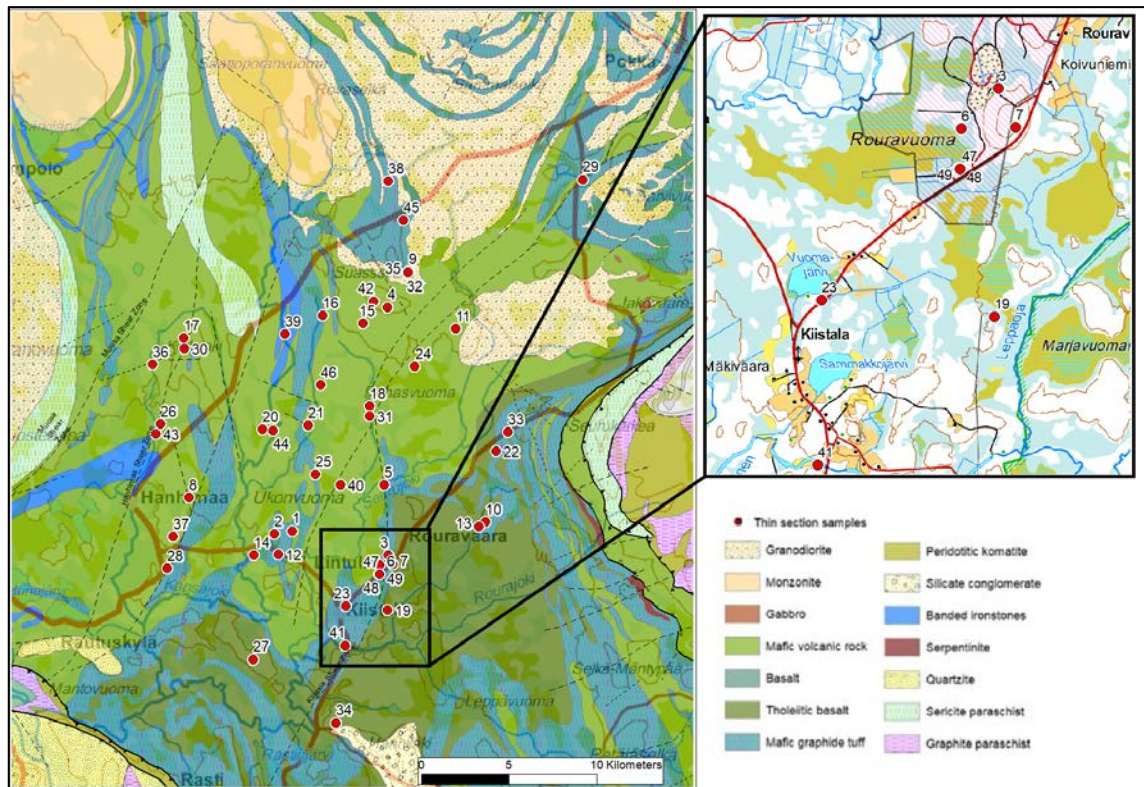
Total 49 thin sections were ordered and prepared from Inspecta Oy laboratory, Oulu. The optical research for the polished thin sections was carried out in facilities of the Oulu Mining School microscope laboratory at the University of Oulu. The aim of the study was to observe the present main minerals; the possible differences in the mineral compositions between samples from the Kautoselkä Fe-tholeiitic and Vesmajärvi Mg-tholeiitic volcanic group lavas as well as to get an overview of the volcanic rocks, which are prevailing at the study area. Generally, often the texture of the massive and pillow structured lavas is aphanitic and altered, in which case an accurate identification of ground mass forming minerals is very difficult or even impossible with only transmitted or reflective light microscopic methods. Usually the possible mineral name or composition of the fine-grained minerals, such as amphiboles is determined only by the colour and pleochroism in the plane polarized light, so the naming is occasionally based on assumption. Although, the most important minerals and structures have been identified, however, this study must still be regarded as suggestive.

Samples were ranging geochemically from calc-alkaline basalts to komatiites (Table 1) and structurally from olivine orthocumulates to strongly metamorphosed, amphibole bearing basaltic lavas. The most common rock types of the area were however fine grained and slightly brecciated tholeiitic basalts, which are geochemically divided to two main types: high magnesium and high iron tholeiites. In addition to them, more interest towards the subject gives clearly coarser grained,

subophitic plagioclase-pyroxene basalts, olivine phyric basalts and olivine cumulates, which may be the lower parts of thick volcanic sequences, resulting from fractional crystallization. Also, increasing metamorphism degree from greenschist facies to amphibolite facies is clearly visible when moving towards north from the Suurikuusikko gold deposit area.

**Table 1.** The list of 49 thin sections. Whole rock analyses classified with Al – (Fet + Ti) – Mg ternary plot (Jensen., 1976).

Thin section	Ternary plot of Jensen (1976).	Thin section	Ternary plot of Jensen (1976)	Thin section	Ternary plot of Jensen (1976).
1 FIEXC102851	TH - high-Mg tholeiite basalt	18 FIEXC102883	TH - high-Fe tholeiite basalt	34 FIEXC102904	TH - high-Mg tholeiite basalt
2 FIEXC102853	TH - high-Fe tholeiite basalt	19 FIEXC102885	TH - high-Fe tholeiite basalt	35 FIEXC102908	TH - high-Mg tholeiite basalt
3 FIEXC102854	TH - high-Mg tholeiite basalt	20 FIEXC102886	CA - Basalt	36 FIEXC102909	TH - high-Mg tholeiite basalt
4 FIEXC102855	TH - high-Fe tholeiite basalt	21 FIEXC102887	TH - high-Fe tholeiite basalt	37 FIEXC102910	TH - high-Fe tholeiite basalt
5 FIEXC102856	TH - high-Fe tholeiite basalt	22 FIEXC102888	KO - Komatiitic basalt	38 FIEXC102911	TH - high-Mg tholeiite basalt
6 FIEXC102860	TH - high-Fe tholeiite basalt	23 FIEXC102889	TH - high-Mg tholeiite basalt	39 FIEXC102913	TH - Dacite
7 FIEXC102861	TH - high-Fe tholeiite basalt	24 FIEXC102890	TH - high-Fe tholeiite basalt	40 FIEXC102914	TH - high-Fe tholeiite basalt
8 FIEXC102862	TH - high-Fe tholeiite basalt	25 FIEXC102892	TH - high-Mg tholeiite basalt	41 FIEXC102915	TH - high-Mg tholeiite basalt
9 FIEXC102863	TH - high-Fe tholeiite basalt	26 FIEXC102893	TH - high-Fe tholeiite basalt	42 FIEXC102916	TH - high-Fe tholeiite basalt
10 FIEXC102866	TH - high-Fe tholeiite basalt	27 FIEXC102894	TH - high-Fe tholeiite basalt	43 FIEXC102917	TH - high-Mg tholeiite basalt
11 FIEXC102867	TH - high-Fe tholeiite basalt	28 FIEXC102895	TH - high-Fe tholeiite basalt	44 FIEXC102918	TH - high-Fe tholeiite basalt
12 FIEXC102868	TH - high-Mg tholeiite basalt	29 FIEXC102896	TH - high-Fe tholeiite basalt	45 FIEXC102921	TH - high-Mg tholeiite basalt
13 FIEXC102869	TH - high-Fe tholeiite basalt	30 FIEXC102897	CA - Basalt	46 FIEXC102922	TH - high-Fe tholeiite basalt
14 FIEXC102873	TH - high-Mg tholeiite basalt	31 FIEXC102898	TH - high-Fe tholeiite basalt	47 FIKIO112844	TH - high-Fe tholeiite basalt
15 FIEXC102875	TH - high-Fe tholeiite basalt	32 FIEXC102899	TH - high-Fe tholeiite basalt	48 FIKIO112847	KO - Komatiitic basalt
16 FIEXC102876	TH - high-Mg tholeiite basalt	33 FIEXC102902	TH - high-Mg tholeiite basalt	49 FIKIO112849	KO - Komatiite s.s.
17 FIEXC102877	TH - high-Mg tholeiite basalt				

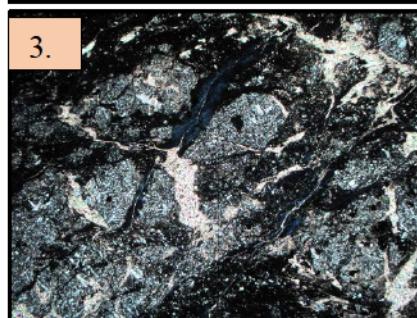
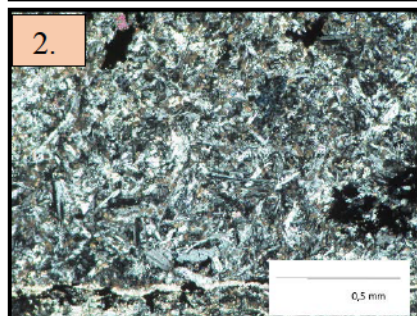
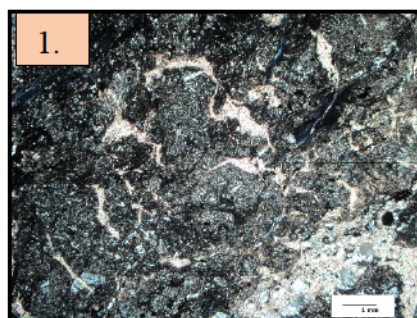


**Figure 1.** The distribution of thin section samples in the Kittilä Suite area (Bedrock: Geological Survey of Finland-Bedrock of Finland, DigiKp-2016).

The thin section samples are widely distributed to the Kittilä Suite, mafic volcanite area (*Figure 1*). The samples are collected from both, Agnico Eagle Finland Oy owned drill holes and as grab samples from outcrops. In the thin section ID's presented in the *Figure 1*, the letter G refers to a grab sample type sample. The drill holes and grab samples are reported by Agnico Eagle Finland Oy geologists and the abbreviations used for the reporting of different rock types are: MPL mafic Pillow lava, MML mafic massive lava, MLAVA mafic lava, MDY mafic dyke, MaficVolc mafic volcanite, UMV ultramafic volcanite and INV intermediate volcanite. Abbreviation PPL refers to plane polarized light and XPL to cross polarized light with the transmissive light.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	149,97	150,23	7536459,644	421317,18485	90,671	FIEXC102862	Reported as MPL



## Description

Sheared and slightly brecciated mafic, basaltic lava is formed from lath-shaped plagioclase microlites, amphiboles, sericite, calcite and chlorite. Cleavages are calcite filled and the most intensively sheared parts are strongly chloritized.

## Mineralogy

The groundmass consists of plagioclase laths, amphiboles, sericite, calcite and chlorite. Opaque's are pyrite and pyrrhotite

## Texture

Pilotaxitic and mainly lath-shaped plagioclase bearing groundmass is partially strongly sheared and brecciated. Strong chloritization, thin sulphide stripes and grain aggregates along shears. The most brecciated part with the slightly rotated grain clusters may be a pyroclastic interlayer.

## Sulphides and oxides

Pyrite and pyrrhotite are mainly associated with calcite veins/cleavages and shear fractures. Pyrite occurs also as irregular dissemination (trace).

**Fig.1:** Carbonate bearing and slightly brecciated texture (1.25x-magnification with XPL).

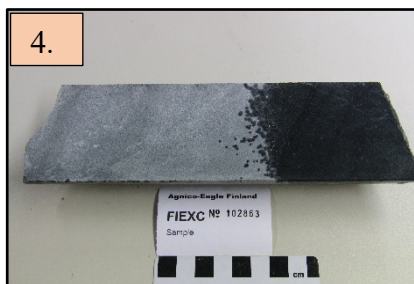
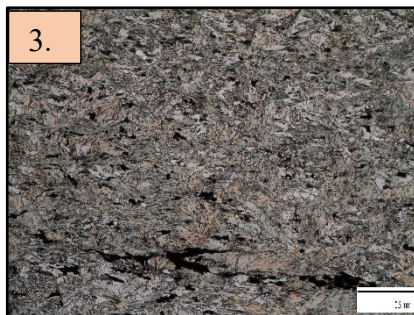
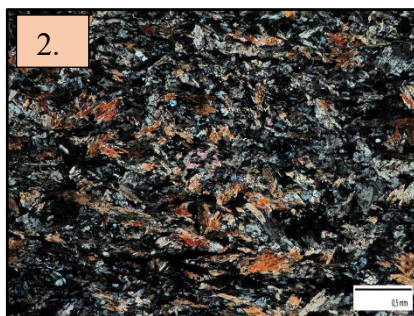
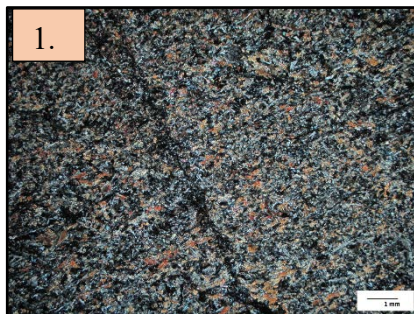
**Fig.2:** Fine grained and altered plagioclase, amphibole, sericite, calcite and chlorite bearing ground mass (10x-magnification with XPL)

**Fig.3:** Partly rotated and elongated grain clusters (or fragments) along shearing (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Pyrite and pyrrhotite associated with calcite joint (10x-magnification with reflective light)

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	22,32	22,67	7549361	433841,8	266,694	FIEXC102863	Reported as MPL



## Description

Homogenous and fine-grained amphibole bearing lava. Tremolite-actinolite series amphibole laths can be even 0,5 mm long, and represent most likely more actinolitic composition, due the more prevalent greenish pleochroism of the crystals. The more ferroan actinolitic composition of amphiboles supports also the Fe-tholeiitic whole rock analysis. The high amount of amphibole minerals may be reason from the increasing metamorphism degree towards North from the Suurikuusikko area

## Mineralogy

Pilotaxitic/ slightly oriented and homogenous ground mass consists mainly of tremolite-actinolite series amphiboles, fine grained plagioclase and calcite, which occurs as accessory mineral.

## Texture

Amphibole laths, which can be even 0,5 mm long, seem to have slightly oriented. Possibly flow oriented structure could be described as trachytic texture.

## Sulphides and oxides

Regular pyrite and magnetite ( $\pm$  pyrrhotite) dissemination, scantily. Magnetite approx. 60% and pyrite 40% of the opaque minerals.

**Fig.1:** Quite homogenous amphibole bearing groundmass (1.25x-magnification with XPL).

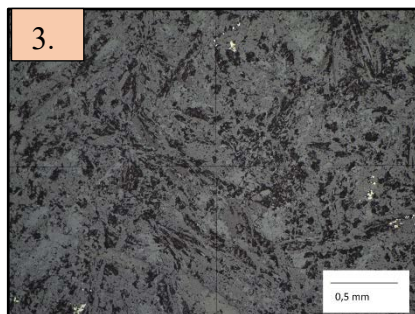
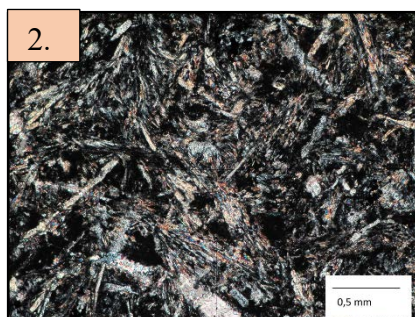
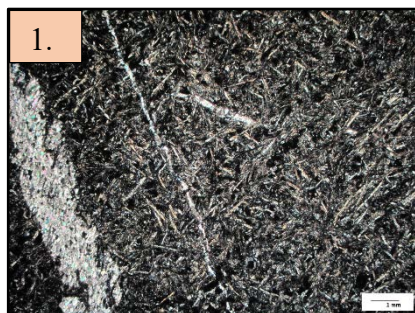
**Fig.2:** Marginally oriented tremolite-actinolite series amphiboles, fine grained plagioclase and calcite bearing groundmass (5x-magnification with XPL)

**Fig.3:** Figure 2 in plane polarized light (PPL). Fe-bearing amphiboles have a clear greenish tint.

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	192,95	193,25	7533219	426415	56,21	FIEXC102868	Reported as MPL



## Description

Mafic lava, which is being crossed by several fractures which are filled by calcite. Aphanitic, randomly oriented acicular plagioclase amphiboles and epidote are predominant in this sample. Quite homogenous lava, which is most likely pillow lava (carbonate filled, possible cooling cracks, randomly oriented and microcrystalline mineral habit).

## Mineralogy

Microclitic plagioclase and amphibole bearing ground mass. Aphanitic, needle like minerals are hard to distinguish due the altered, messy and microcrystalline habit. Calcite fills fractures and occurs in ground mass as accessory mineral

## Texture

Intersetal-pilotaxitic structure. The needle-shaped structure is somewhat reminiscent of pyroxene spinifex texture.

## Sulphides and oxides

Sulphide and oxide mineral assemblage is consisted of pyrrhotite and the accompanying magnetite, sub-euhedral pyrite. Trace sulphides occur as sparse dissemination and crystal accumulations.

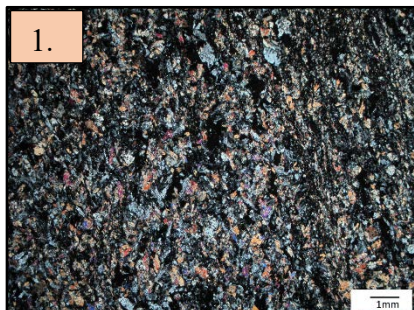
**Fig.1:** Aphanitic and randomly oriented texture with carbonate filled cleavages (1.25x-magnification with XPL)

**Fig.2:** Acicular texture, epidote stands out by its higher interference color. (5x-magnification with XPL)

**Fig.3:** Sparse trace magnetite, pyrrhotite and pyrite dissemination (5x-magnification with reflective light)

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	448,23	448,5	7535061	438239,3	-97,499	FIEXC102866	Reported as MLAVA



### Description

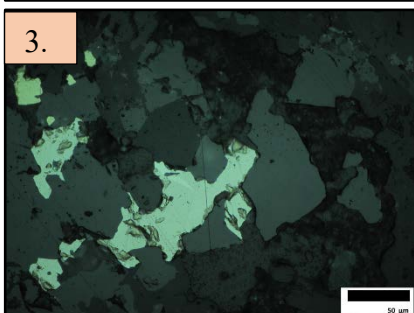
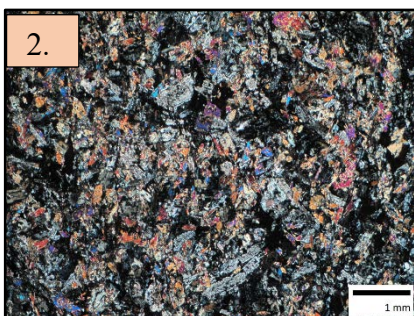
Fine grained and foliated tholeiitic basalt.

### Mineralogy

The main Mineralogy are plagioclase, epidote, tremolite-actinolite series amphiboles, sericite, chlorite and calcite. Amphibole group minerals seem to be more into actinolitic composition due the greenish pleochroism which indicates more Fe-bearing content.

### Texture

Plagioclase laths are clearly larger than other crystals. Structure resembles intergranular, due the randomly oriented plagioclase laths are enclosing smaller amphibole and epidote grains.



### Sulphides and oxides

Trace amounts of fine grained disseminated opaque minerals, which are pyrrhotite pyrite and magnetite. Extremely fine-grained flame-like pentlandite inclusions occur occasionally within pyrrhotite grains.



**Fig.1:** Fine grained and foliated texture (1.25x-magnification with XPL)

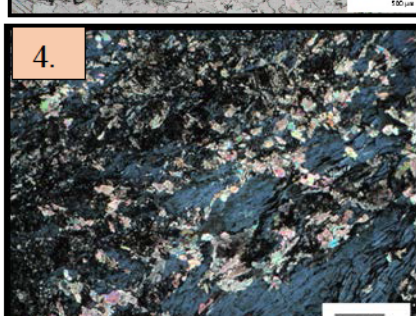
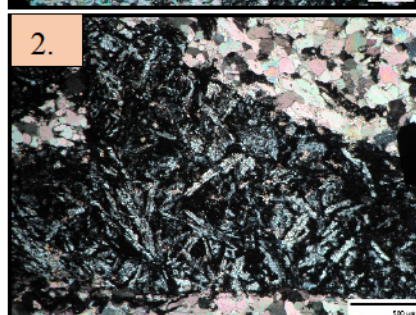
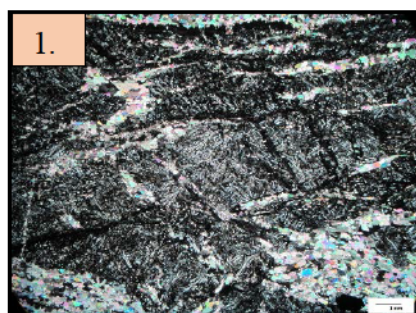
**Fig.2:** Plagioclase, epidote, tremolite-actinolite series amphiboles, sericite, chlorite and calcite bearing groundmass (2.5x-magnification with XPL)

**Fig.3:** Fine-grained magmatic sulphides are mostly pyrite or chalcopyrite and pyrrhotite. Tiny flame-like pentlandite inclusion within the pyrrhotite grain (50x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	479	479, 24	7534787	437874, 6	-127,18	FIEXC102869	Reported as MPL



## Description

Strongly altered, sheared and fractured mafic lava.

## Mineralogy

Aphanitic and randomly oriented groundmass contains mainly plagioclase, calcite and chlorite. Plagioclase might have preserved from strong alteration, which have transformed pyroxene and amphibole group minerals totally into chlorite.

## Texture

Preserved acicular plagioclase laths are randomly oriented and somewhat radially settled “curved branching” in between calcite filled fractures or joints. Strong chloritization and carbonatization. Also, sericite occurs occasionally as ribbon-like stripes between the most chloritized zones.

## Sulphides and oxides

Only a few irregular sub-euhedral pyrite grains

**Fig.1:** Strongly sheared and fractured texture, which is cut by calcite bearing joints/cleavages (1.25x-magnification with XPL).

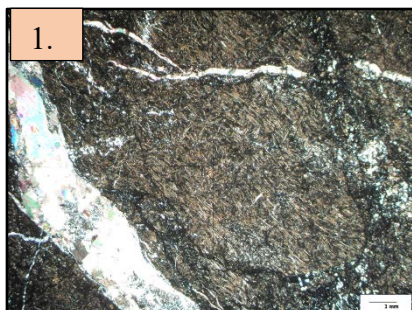
**Fig.2:** Radially settled and altered plagioclase laths, the texture resembles micro spinifex texture (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Figure 2 with plane polarized light

**Fig.4:** Chlorite occurs in distinct bluish color in this strongly altered lava (2.5x-magnification with XPL).

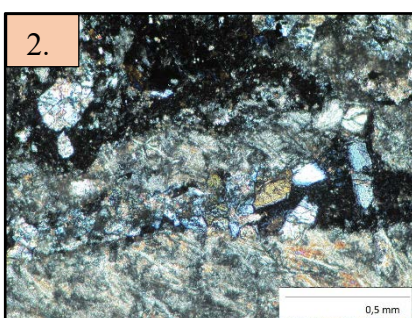
**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_T M35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	117,3 9	117,6 7	7533164	425011, 8	112,4 02	FIEXC102873	Reported as MPL



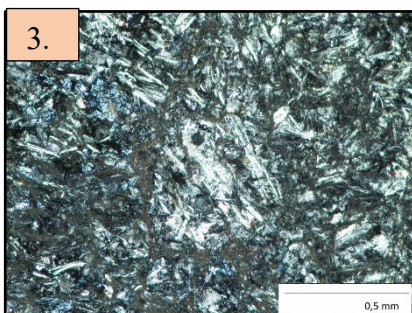
### Description

Microclitic plagioclase, amphibole and epidote bearing, very fine grained mafic lava, which is brecciated by calcite veining. Roundish structures, microcrystalline mineral habit and strong amphibolization is most likely related to seafloor environment spilitic alteration, which is common to pillow lavas at the area.



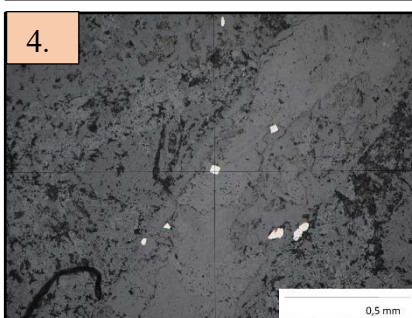
### Mineralogy

Aphanitic amphibole and plagioclase bearing groundmass with some preserved euhedral epidote crystals (fig.2). Weak chlorite and carbonate alteration, fractures/ shears are clearly more chloritized. Groundmass may also be slightly serpentinized, due to the brownish tint.



### Texture

The very fine and hardly recognizable fibrous-acicular groundmass. Acicular plagioclase laths can be up to 1-millimeter long.



### Sulphides and oxides

Euhedral pyrite (trace) is mainly associated with the carbonate veins. Pyrrhotite occurs as irregular, trace dissemination.



**Fig.1:** Amphibole bearing groundmass is brecciated by later calcite veining (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** A few euhedral epidote crystals stand out clearly from the totally amphibole altered groundmass (10x-magnification with XPL).

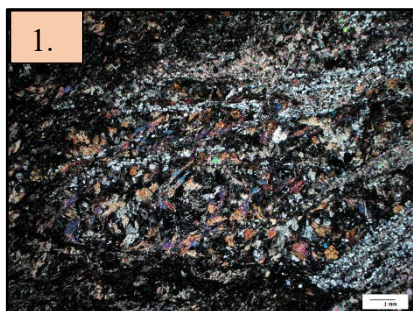
**Fig.3:** Plagioclase microliths form occasionally roundish grain clusters (10x-magnification with XPL)

**Fig.4:** Fine grained sub-euhedral pyrite grains occur within the carbonate vein (10x-magnification with reflective light)

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Drill hole
Basalt/pyroclastic rock	TH - high-Mg tholeiite basalt	369,6	369,89	7546852	428948,2	-46,921	FIEXC102876	Reported as MML



### Description

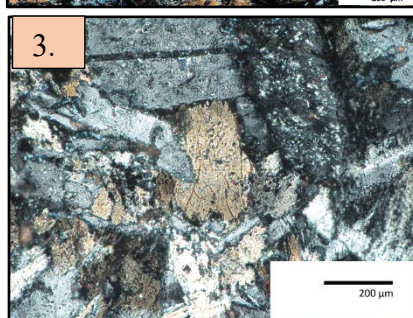
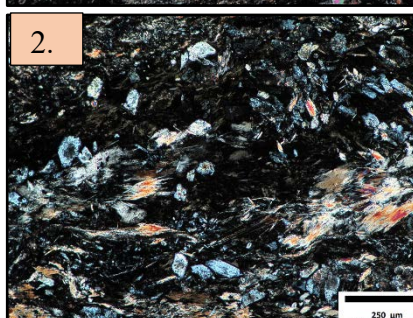
Fine grained basaltic lava with pyroclastic fragments. The rock is partially sheared and fractured by quartz-carbonate filled fractures.

### Mineralogy

The main Mineralogy are plagioclase, tremolite, epidote, serpentine and chlorite. Calcite and minor quartz (chert) are associated with the fractures.

### Texture

The matrix shows mostly randomly oriented habit but is partly slightly oriented (especially amphibole laths), which may have been caused by shearing or flow orientating (pilotaxitic-trachytic structure). Amphibole bearing fragments (fig.1) may be pyroclastic.



### Sulphides and oxides

Sulphides and oxides occur as weak dissemination. The main opaque minerals are anhedral pyrrhotite and brown sub-euhedral rutile.



**Fig.1** Partly sheared and brecciated fine-grained lava (1.25x-magnification with XPL)

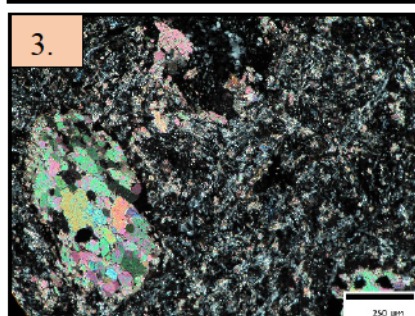
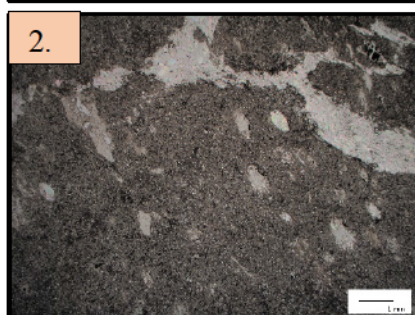
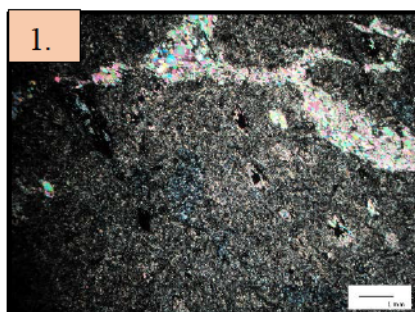
**Fig.2:** Euhedral epidote crystals have preserved within the serpentine, amphibole and plagioclase bearing groundmass (10x-magnification with XPL)

**Fig.3:** Amphibole crystal with characteristic cleavages surrounded by altered plagioclase/albite crystals (20x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Pyrrhotite occurs as weak dissemination (20x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Amygdaloidal basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	552,6 5	552,9 7	7530278	430285, 1	-188,991	FIEXC1028 89	Reported as MPL



## Description

Mineral assemblage of the ground mass consists of microcrystalline and microlithic plagioclase, amphiboles and calcite. Slightly oriented and elongated roundish amygdaloidal nodules are filled with calcite and occasionally with quartz. Chlorite alteration is associated usually with the boundaries of calcite filled fractures/cooling cracks. This basaltic lava resembles pillow lava due the presence of vesicles, microcrystalline and trachytic structure.

## Mineralogy

Plagioclase, amphiboles, calcite and accessory epidote.

## Texture

Microcrystalline, lath-shaped plagioclase and amphibole. Minerals are hard to distinguish due the aphanitic and messy characteristic. Trachytic, flow oriented texture. Carbonate ± quartz filled amygdaloidal nodules occur within plagioclase and amphibole and bearing matrix

## Sulphides and oxides

Pyrite and pyrrhotite occur in trace amounts as irregular dissemination, also associated with the carbonate-quartz bearing vesicles. Trace amounts of euhedral magnetite and titanium-oxides. Titanium oxides are most likely rutile, or they are altered to leucoxene.

**Fig.1** Fine grained tholeiitic amygdaloidal groundmass partly cut by calcite joints (1.25x-magnification with XPL)

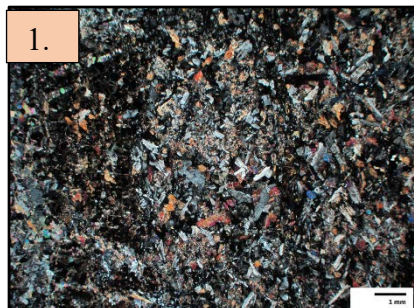
**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light.

**Fig.3:** Very fine-grained plagioclase and amphibole bearing matrix accompanied with calcite+quartz filled vesicles (10x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	190,78	191,13	7530051	432649,3	63,574	FIEXC102885	Reported as MML



### Description

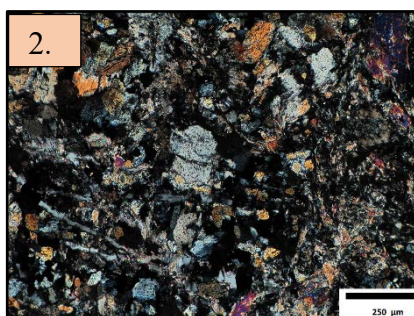
Basaltic lava. Fine grained, plagioclase, amphibole, epidote, chlorite and carbonate bearing matrix is weakly chloritized and altered to amphibole-group minerals.

### Mineralogy

Main minerals are plagioclase, tremolite-actinolite series amphiboles, altered titanium-oxides and epidote.

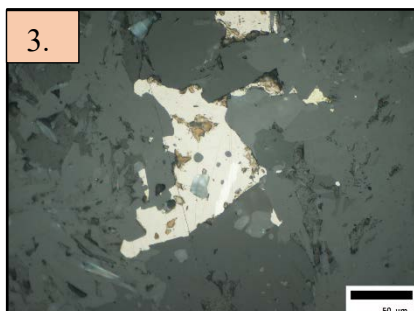
### Texture

The fine-grained groundmass shows randomly oriented, pilotaxitic structure. Amphiboles seem to have crystallized on the top of carbonate veins and plagioclase crystals.



### Sulphides and oxides

Weak, fine grained sulphide dissemination. Sulphides are mainly pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite and minor pentlandite traces. Pentlandite occurs randomly and as flame-like inclusions within pyrrhotite grains.



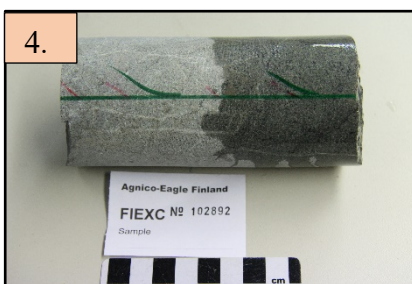
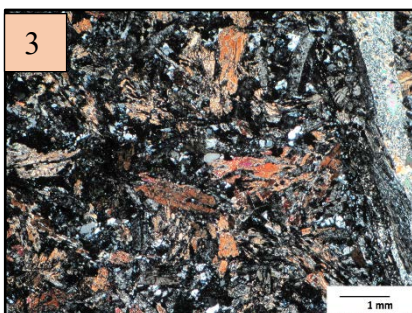
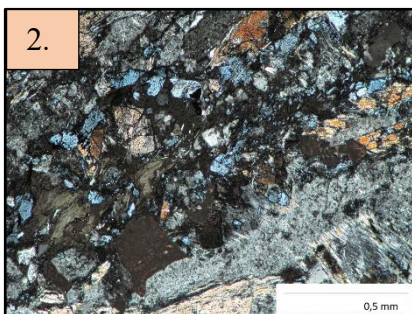
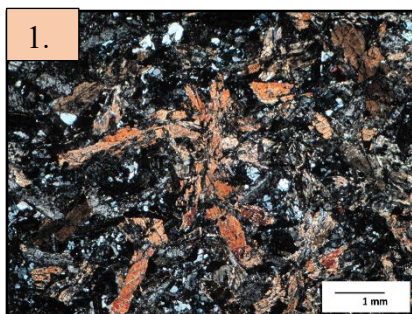
**Fig.1** Fine grained and randomly oriented groundmass (1.25x-magnification with XPL)

**Fig.2:** Epidote crystals are highly altered in the groundmass, which consists mainly of plagioclase, amphiboles, chlorite, leucoxene and carbonates (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pentlandite occur as tiny "flame-like" inclusion in pyrrhotite (50x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	192,94	193,28	7537780	428516,2	81,088	FIEXC102892	Reported as MPL



## Description

Intensively altered basaltic lava with coarse amphibole crystals and high-magnesium characteristic mineral assemblage.

## Mineralogy

Main minerals are plagioclase, tremolite-actinolite series amphiboles (dominantly tremolite), epidote, serpentine and minor talc. Also, chlorite and sericite occur as alteration mineral.

## Texture

Even longer than a 1-millimeter amphibole laths are randomly oriented, as also the fine-grained groundmass. The vein (in the second lower most figure) is sharp edged and consists of microcrystalline, randomly oriented (pilotaxitic) plagioclase and amphibole needles with some carbonates.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals are altered Fe-oxides (leucoxene) and disseminated subhedral pyrite which occurs as trace amounts.

**Fig.1** Brownish amphibole minerals are up to 1-millimetre long (1.25x-magnification with XPL)

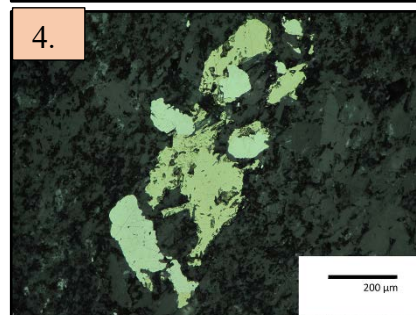
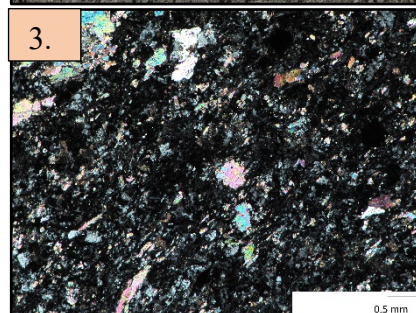
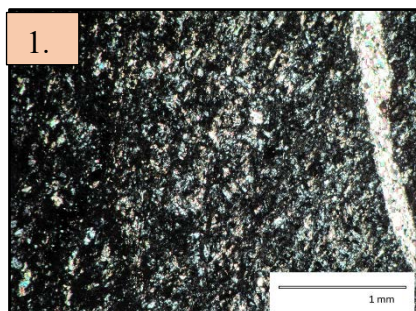
**Fig.2:** Euhedral epidote crystals preserved within serpentinized cleavage. Euhedral deep brown crystals are altered Fe-oxides (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** The subophitic pyroxene (altered) and plagioclase bearing matrix indicates almost simultaneous crystallization (2.5x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Drill hole
Basalt/ vesicular basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	480,07	480,35	7540664	419698,5	-161,78	FIEXC102893	



## Description

Very fine grained and strongly chloritized basaltic lava with a few, irregular vesicular structures. Fractures are calcite, pyrite  $\pm$  quartz filled. The boundaries of the fractures are strongly chlorite altered.

## Mineralogy

Matrix consists mainly of micro crystalline plagioclase, which is the only clearly recognizable mineral. Other minerals may have altered totally to chlorite. Also, sericite, calcite and minor quartz occur as accessory mineral.

## Texture

Microcrystalline, microlithic plagioclase. Mineral presence probably slightly oriented/ sheared. Some roundish vesicular structures, which seem to be hollow.

## Sulphides and oxides

Irregular sub-euhedral pyrite grains, usually occur within in fractures. Random chalcopryite grains, which are most likely formed later are associated with pyrite grains.

**Fig.1** Aphanitic plagioclase (albite), amphibole, chlorite, sericite and carbonate bearing ground mass cut by calcite vein (1.25x-magnification with XPL).

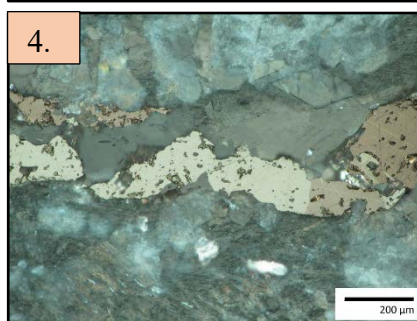
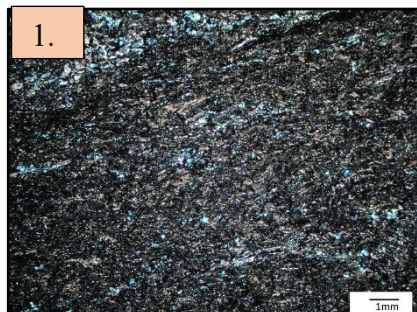
**Fig.2:** Vesicles are clearly noticeable in the chloritized texture. Epidote crystals stands out from the matrix by their higher bireflectance (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** The main minerals can be hardly identified from altered and messy groundmass (10x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Chalcopryite associated with subhedral pyrite grains is most likely formed at later stage (20x-magnification with reflective light)

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	210,0 6	210,3 7	7534554	427207, 9	48,54	FIEXC10285 1	Reported as MPL



## Description

Basaltic lava. Clearly oriented mineral habit, which could refer to flow orientation.

## Mineralogy

The main minerals are epidote and amphiboles. Tremolite-actinolite series amphiboles consist mainly of more tremolitic minerals due to the pale brownish pleochroism. Alteration products are sericite chlorite, minor carbonates and serpentine.

## Texture

Minerals are clearly oriented (trachytic). Also, microscopic boudinage and pinch and swell structures occur in the matrix. Crystal size is fine grained-aphanitic.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals, which occur as trace amount dissemination are pyrrhotite and the associated magnetite.

**Fig.1** Fine grained tholeiitic basalt with flow-oriented texture (trachytic) (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light (1.25x-magnification with PPL).

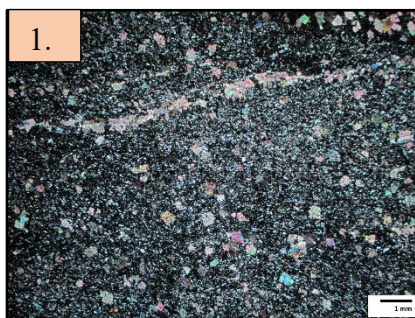
**Fig.3:** Preserved euhedral epidote crystals associated within strongly altered cleavage (10x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Pyrrhotite and magnetite occur mainly with carbonate filled fractures (20x-magnification with reflective light)

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	17,62	17,9	7547314	432663,3	321,967	FIEXC102855	Reported as MPL



### Description

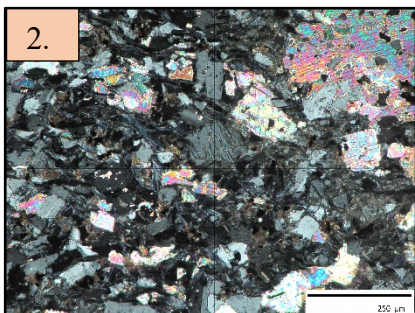
Fine grained, altered basaltic lava with euhedral carbonate phenocrysts.

### Mineralogy

The main minerals are fine grained albite, chlorite more and coarse-grained calcite. The groundmass is strongly chloritized.

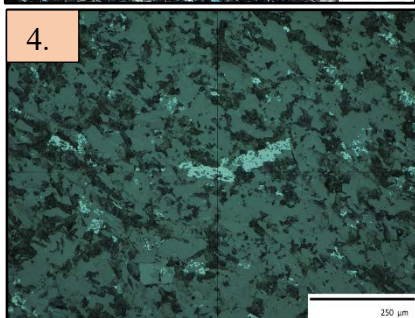
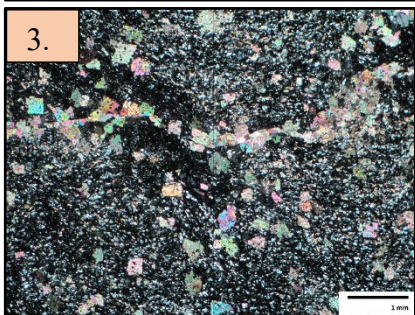
### Texture

Minerals seem to have oriented habit, possibly due the magma flow or shearing. Carbonate filled joints are oriented and slightly banded.



### Sulphides and oxides

Regular, fine grained Fe-oxide dissemination. Opaque minerals are mostly magnetite.



**Fig.1** Fine grained tholeiitic basalt with euhedral carbonate crystals and calcite cleavage (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The fine-grained ground mass consists mostly of albite and more coarse-grained calcite. (20x-magnification with XPL).

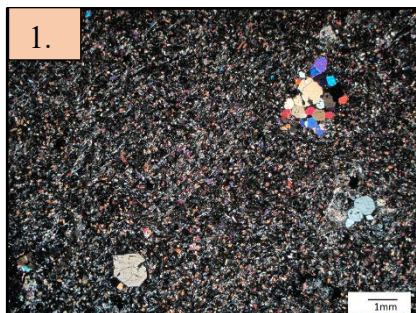
**Fig.3:** Weak banding can be observed from the texture and calcite veins (2.5x-magnification with XPL).

**Fig.4** Regular magnetite dissemination (20x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

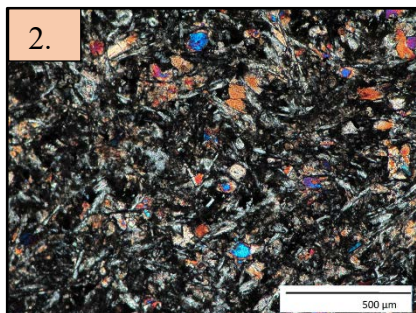


Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	199,8 3	200, 1	7532627	432195,3	17,638	FIEXC1 02860	Reported as MPL



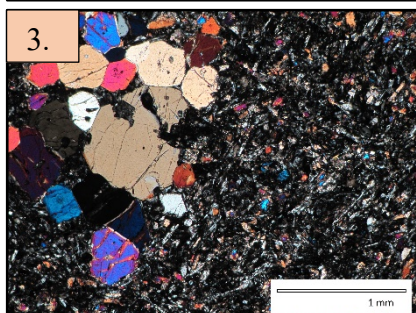
### Description

Tholeiitic basalt, which consists of pyroxenes and microlithic plagioclase laths. Coarse clinopyroxene and orthopyroxene phenocrysts form also clear grain clusters. Totally altered olivine pseudomorphs occur randomly.



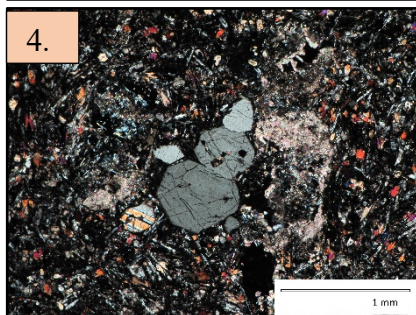
### Mineralogy

This fine-grained groundmass consists of pyroxenes, plagioclase microlites, minor carbonates and chlorite. Phenocryst clusters are dominated by clinopyroxene.



### Texture

Pilotaxitic and fine-grained groundmass. Pyroxene phenocryst grain clusters are formed mostly from clinopyroxene (3<sup>th</sup> figure) but also orthopyroxene occur as ca. 0,5-millimeter diameter phenocrysts, which also have clinopyroxene exsolutions (4<sup>th</sup> figure).



### Sulphides and oxides

Regular, trace amount pyrite, pyrrhotite and magnetite dissemination.



**Fig.1** Fine grained tholeiitic basalt with larger euhedral pyroxene crystal phenocryst accumulations (1.25x-magnification with XPL).

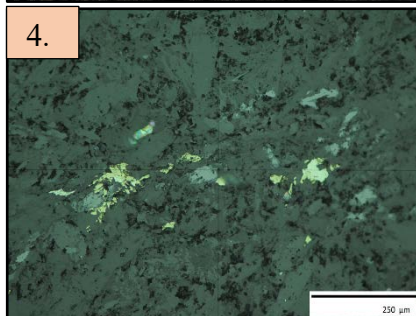
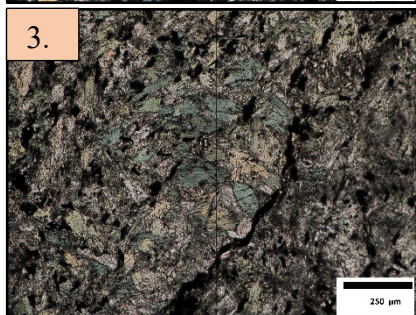
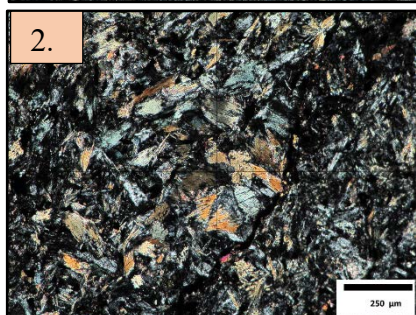
**Fig.2:** Fine-grained groundmass consists mainly of pyroxenes and plagioclase microlites (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pyroxene phenocrysts are quite unaltered. Fine grained opx and cpx occur also in the matrix (2.5x-magnification with XPL).

**Fig.4** Orthopyroxenes have occasionally clinopyroxene exsolutions (exsolutions in the lower left corner of phenocryst cluster) (5x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3	E_TM3	Z_TM	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	147,3 7	147, 73	754609 5	436542, 6	150,569	FIEXC1 02867	Reported as MML



## Description

Weakly carbonate and chlorite altered tholeiitic basalt with fine grained and randomly oriented groundmass. Tiny carbonate and chlorite filled joints crosscut the matrix.

## Mineralogy

Matrix consists of plagioclase, tremolite-actinolite series amphiboles (strong green pleochroism indicates high Fe-content) and minor epidote.

## Texture

Massive structured and randomly oriented matrix is brecciated by thin sulphide bearing cracks and thicker calcite and chlorite bearing veins.

## Sulphides and oxides

Trace amounts of sulphides occur mainly as fracture fillings within thin cracks and are also associated with carbonate veins. The opaque minerals are pyrite, chalcopyrite and magnetite.

**Fig.1** Very fine grained and amphibole bearing groundmass is cut by thin calcite veins and carbonate filled cleavages (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The main minerals are plagioclase and tremolite-actinolite series amphiboles. Tiny clinopyroxenes stand out by their high interference color (10x-magnification with XPL).

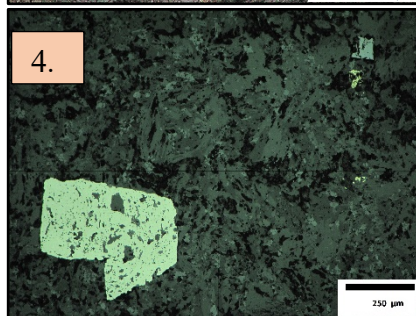
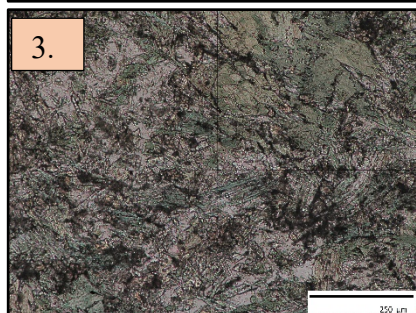
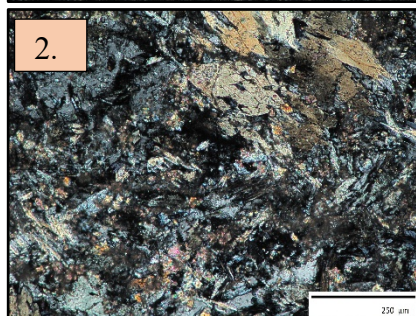
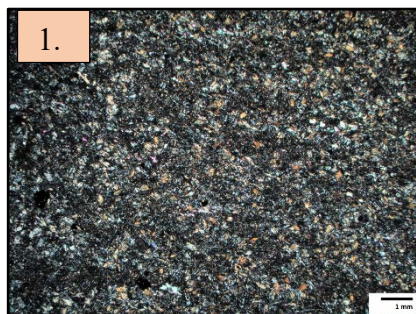
**Fig.3:** Deep greenish tint in amphibole minerals indicate high Fe-content (10x-magnification with PPL).

**Fig.4** Pyrite, chalcopyrite and magnetite occur mostly within fractures or with calcite veins) (20x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	312,5 6	312, 86	754638 6	431259, 3	11,135	FIEXC1 02875	Reported as Mlava



## Description

Very fine grained, randomly oriented, weakly carbonate and chlorite altered basaltic groundmass. Thin carbonate filled cleavages.

## Mineralogy

Matrix consists of plagioclase, tremolite-actinolite series amphiboles. Strong green pleochroism of the amphibole minerals indicates high Fe-content and more actinolitic composition or also possible occurrence of hornblende. Fine grained, preserved epidote crystals occur as accessory mineral.

## Texture

Fine grained groundmass shows pilotaxitic or weakly trachytic texture. Larger amphibole grains are slightly oriented.

## Sulphides and oxides

Irregular dissemination of quite large sub-euhedral pyrite, magnetite grains. Anhedronal chalcopryite occurs as trace amounts.

**Fig.1:** Very fine grained, randomly oriented and altered groundmass (1.25x-magnification with XPL).

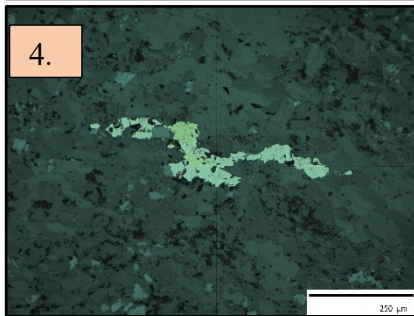
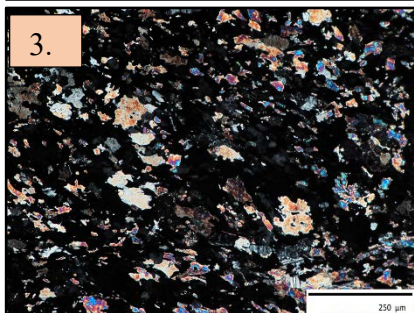
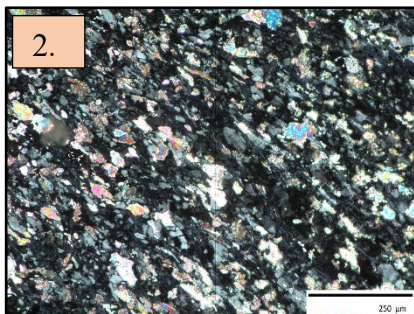
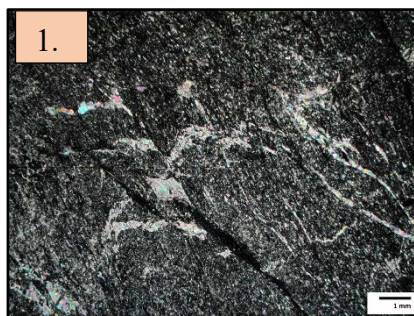
**Fig.2:** Fine grained and bright epidote have been partly preserved within the altered amphibole and plagioclase bearing groundmass (20x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Deep greenish tint in amphibole minerals indicate high Fe-content. (10x-magnification with PPL).

**Fig.4** Pyrite can form quite large subhedral crystals. Also, chalcopyrite and magnetite are present as trace amounts (10x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	82,2 3	82,5	75416 61	431623 ,2	164,4 25	FIEXC1 02883	Reporte d as MML



## Description

Sheared, fine grained and strongly carbonatized tholeiitic massive mafic lava.

## Mineralogy

Fine grained and altered ground mass consists of plagioclase/albite, calcite, chlorite, sericite and minor amphiboles. Strong chlorite alteration is prevailing.

## Texture

Fine grained matrix is clearly oriented, sheared and slightly brecciated (see the 1<sup>th</sup> figure with 1 mm scale).

## Sulphides and oxides

Opaque minerals, which are anhedral chalcopryite, pyrrhotite and magnetite occur as irregular trace amount dissemination.

**Fig.1:** Very fine grained and sheared tholeiitic basalt which is brecciated by carbonate cleavages (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Aphanitic and highly altered groundmass has a clearly oriented characteristic (20x-magnification with XPL).

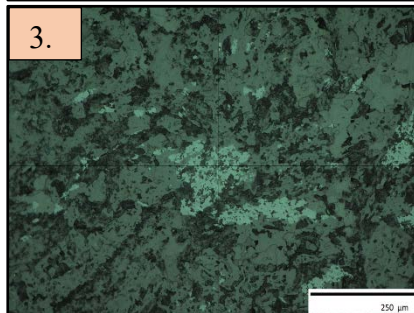
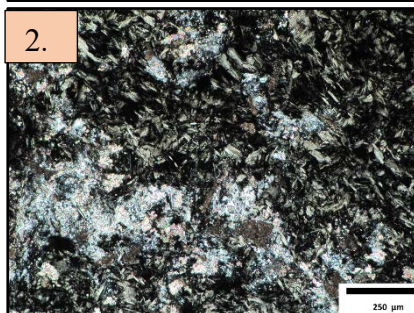
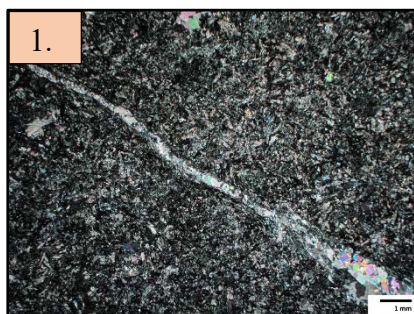
**Fig.3:** The main mineralogy of the sample is almost unrecognizable due strong alteration. Carbonates, chlorite and plagioclase/albite stand out clearly (20x-magnification with XPL).

**Fig.4** Pyrrhotite, chalcopryite and magnetite occur as weak dissemination (20x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification		From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
High Mg-Basalt	KO Komatiitic basalt	-	182,0 8	182, 38	753910 1	438835, 1	105,322	FIEXC1 02888	Reported as MML



## Description

Pervasively altered massive lava with ultra-mafic characteristic.

## Mineralogy

Fine grained, pervasively altered matrix consists of fibrous serpentine group minerals with parallel extinction, talc, calcite, albite and minor tremolite.

## Texture

Fibrous, messy looking and fine-grained minerals have randomly oriented habit.

## Sulphides and oxides

Irregular, trace amount disseminated opaque minerals are oxides most likely magnetite ± hematite.

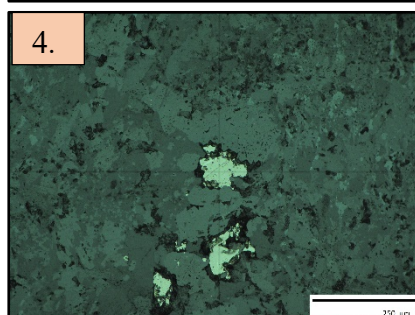
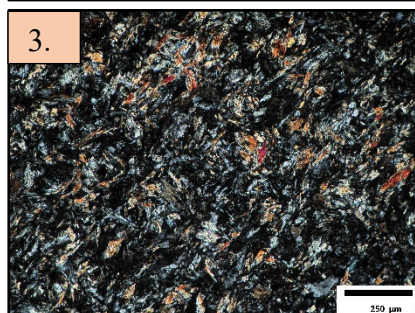
**Fig.1:** Strongly altered, serpentine bearing mafic lava is cut by a calcite filled fracture/joint (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Pervasively altered groundmass consists of fibrous serpentine, albite, calcite, minor amphiboles, altered Ti-oxides and talc. Possible totally altered euhedral pyroxene/olivine pseudomorph in the lower left corner (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Opaque minerals are Fe- and altered Ti-oxides (20x-magnification with reflective light).

**Fig.4** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	147,6	147, 9	754394 2	434213, 7	131,098	FIEXC1 02890	Reported as MML



## Description

Aphanitic tholeiitic basalt.

## Mineralogy

The main Mineralogy are plagioclase, tremolite-actinolite group amphiboles, sericite, chlorite and calcite. Epidote occurs within fractured parts of the sample and the amphiboles seem to have Fe-bearing, actinolitic composition due the clear, greenish pleochroism.

## Texture

Fine grained matrix shows randomly oriented mineral habit. The structure of the sample is slightly sheared and fractured.

## Sulphides and oxides

Irregular, trace disseminated opaque minerals are pyrrhotite, which occurs usually with the carbonate filled cleavages.

**Fig.1:** Very fine grained tholeiitic basalt (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light (1.25x-magnification with PPL).

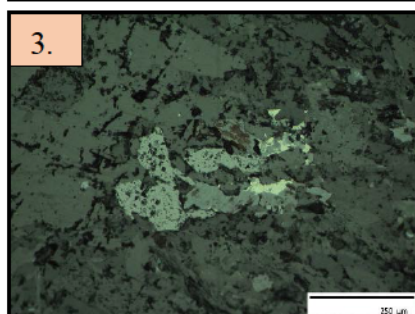
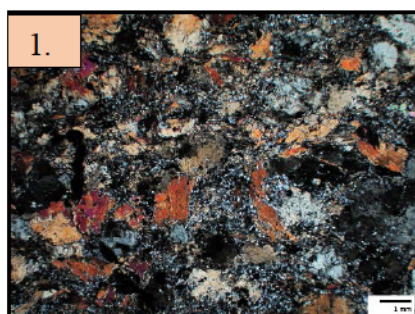
**Fig.3:** Tremolite-actinolite series amphiboles are prevailing and have unoriented habit. Epidote is present within the fractured parts (stand out in greenish in fig. 2) (10x-magnification with XPL).

**Fig.4** Pyrrhotite occur as weak dissemination (20x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Metagabbro	TH - high-Fe tholeiite basalt	Trench		754926 3	433750, 6	290,122 5	FIEXC1 02899	Reported as MDY



## Description

Amphibole and plagioclase bearing rock, which have more intrusive than extrusive characteristic. Clearly coarser (ca. 1-millimetre diameter) and more amphibole bearing than surrounding massive lavas or pillow lavas. Coarse grain size possibly due metamorphism or hypabyssal igneous sill/dike origin.

## Mineralogy

The main Mineralogy are tremolite-actinolite group and hornblende amphiboles, fine grained plagioclase and minor epidote. Fibrous serpentine with parallel extinction occurs as accessory mineral. Amphibole minerals have iron rich composition due the deep greenish to brownish pleochroism

## Texture

Amphibole minerals show slightly oriented habit, otherwise the sample is more like gabbroic.

## Sulphides and oxides

Pyrrhotite, magnetite-hematite and pyrite occur as trace amount dissemination.

**Fig.1:** Medium grained mafic volcanite, amphiboles are up to 1-millimetre diameter. Serpentine occurs as accessory mineral within the amphibole and feldspar bearing groundmass (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light, amphiboles have a clear greenish-brown tint (1.25x-magnification with PPL).

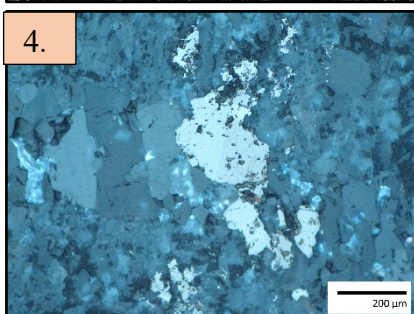
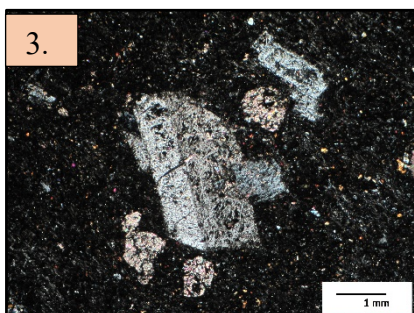
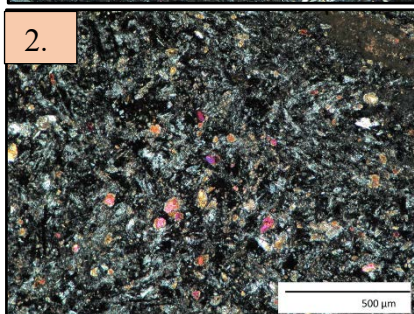
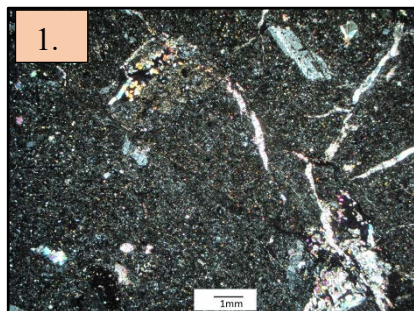
**Fig.3:** Magnetite-hematite + pyrite crystals occur as weak dissemination) (20x-magnification with reflective light).

**Fig.4** The sample has clearly coarser grain size than the grain size which is usual to the tholeiitic basalts at the study area. Grain size increase possibly due stronger metamorphism,

**Fig.5:** Sampling location shown by the hammer at the Outa-Perttunen trench.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3	E_TM3	Z_TM	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Quarry		753423 8	420420, 9	208,251 6	FIEXC1 02910	Reported as MPL



## Description

Fine grained, tholeiitic pillow lava with coarse, strongly altered plagioclase (albite) phenocrysts.

## Mineralogy

Fine grained groundmass consists of plagioclase-albite, clinopyroxene, amphiboles, epidote, chlorite and carbonates.

## Texture

Large albite phenocrysts with clear twinning are common in the matrix, pervasively altered and replaced by alteration products, such as chlorite, epidote carbonates. Otherwise, the fine-grained matrix shows pilotaxitic structure and is brecciated by chlorite and calcite filled fractures.

## Sulphides and oxides

Irregular trace dissemination of pyrrhotite, magnetite and pyrite.

**Fig.1:** Fine grained tholeiitic basalt is partly fractured by chlorite and calcite bearing joints (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Fine grained epidote stands out clearly from altered plagioclase-amphibole bearing groundmass (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Chlorite and epidote altered albite phenocrysts have clear twinning (2.5x- magnification with XPL).

**Fig.4:** Pyrrhotite as well as pyrite and magnetite occur as weak dissemination (20- magnification with reflective light).

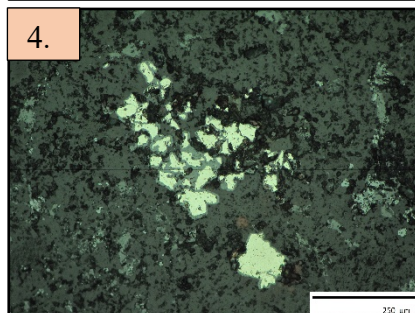
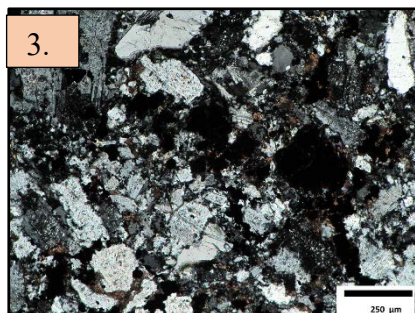
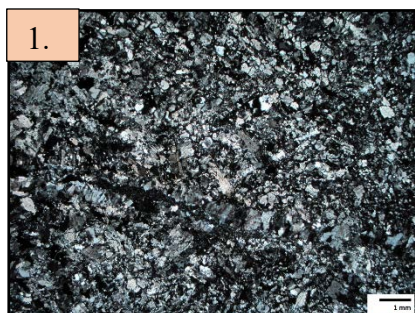
**Fig.5:** Sample picture.

**Fig.6:** Clear pillow structures can be observed from the blasted rock blocks at the Kiimavaara quarry.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - Dacite	Outcrop	7545774	426803,9	222,000 9	FIEXC1 02913	Reported as MML



## Description

Fine grained and slightly silicified lava with tholeiitic dacite composition. Silicification may have been caused the outcropping Kapsajoki jasper nearby or it has been contaminated by the crosscutting reddish vein.

## Mineralogy

The main minerals are altered plagioclase and/or K-feldspar (orthoclase), quartz sericite, chlorite.

## Texture

Equigranular texture, formed by plagioclases and quartz crystals which are occasionally a bit roundish.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals are magnetite-hematite associated with pyrite.

**Fig.1:** Strongly altered (silicified) fine grained mafic volcanite (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light. The sample is cut by ca. 1mm wide quartz-feldspar bearing vein (1.25x-magnification with PPL).

**Fig.3:** Quartz/feldspar crystals are commonly rounded. Magnetite-hematite-pyrite grains occur as dark crystals with reddish reflections (10x- magnification with XPL).

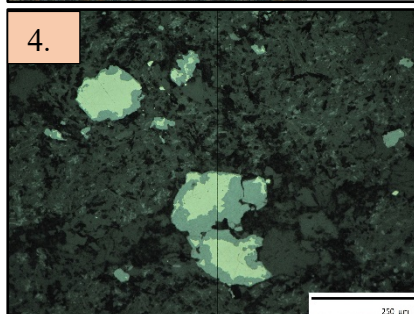
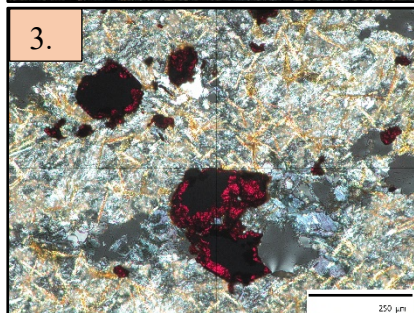
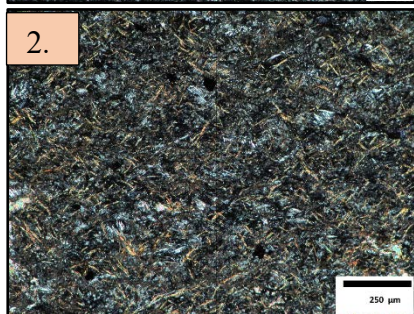
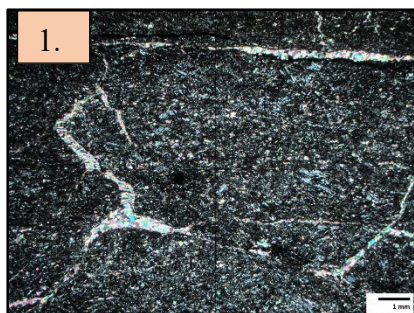
**Fig.4:** Pyrite grains with magnetite-hematite rims (dark crystals in Fig.3) (20- magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture.

**Fig.6:** Outcrop picture, hammer as scale.



Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop field	7542880	428841,3	243,589 5	FIEXC10 2922	Reported as MPL



## Description

Aphanitic, tholeiitic basalt with a few vesicular structures.

## Mineralogy

Aphanitic groundmass consists of fine-grained plagioclase, larger plagioclase phenocrysts, tremolite-actinolite series amphibole needles, chlorite and calcite. Calcite occur also in cleavages which are possibly cooling cracks, associated to the cooling of the lava.

## Texture

Pilotaxitic and aphanitic texture. The groundmass is broken by several calcite filled cleavages.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals are mainly magnetite-hematite associated with pyrite.

**Fig.1:** Aphanitic and pilotaxitic tholeiitic basalt is brecciated by calcite filled fractures (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The main mineralogy consists of fine grained amphiboles, plagioclase, chlorite and calcite (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Magnetite-hematite rims surrounding pyrite grains have distinct red color (20x- magnification with XPL).

**Fig.4:** Figure 3 presented in 20- magnification with reflective light.

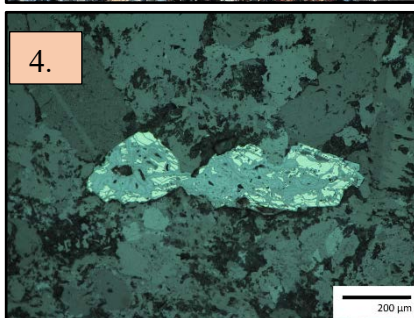
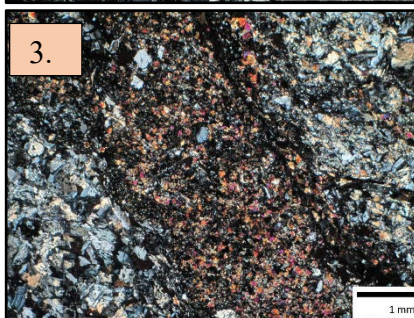
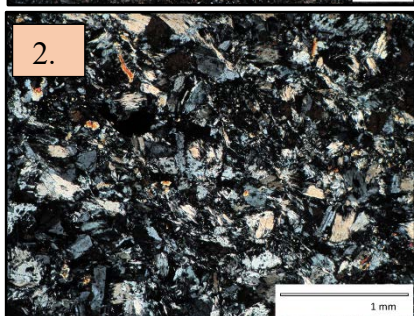
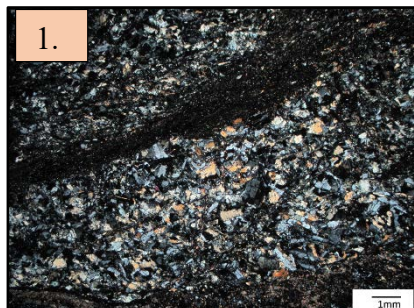
**Fig.5:** Sample picture.

**Fig.6:** Outcrop picture, the hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	2,1	3,39	754056 4	428102, 9	217,255	FIEXC1 02887	Reported as INV



## Description

Slightly coarser grained than the more common, aphanitic tholeiitic lavas. This sample has also fractures/small veins, which are filled by epidote bearing material (3<sup>th</sup> figure). There are also thinner, fine grained and chlorite and sericite altered joints. Cleavages/joints also filled by fine grained, darker material which might be volcanic sediment interlayers.

## Mineralogy

The main Mineralogy are tremolite-actinolite group amphiboles, plagioclase, epidote and minor quartz. Amphiboles seem to have Fe-bearing, actinolitic composition due the greenish pleochroism.

## Texture

Basaltic, amphibole and feldspar bearing matrix is brecciated by thin (ca. 1,5-millimeter diameter) veins/cracks which consists mainly of epidote and chlorite ± amphiboles, plagioclase and quartz. Larger amphibole grains seem to have oriented habit, possibly due shearing.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals are magnetite-hematite, associated with minor pyrite. Altered titanium oxides are common.

**Fig.1:** Plagioclase amphibole bearing groundmass with associated fine grained and strongly altered, possible volcano-sedimentary interlayers (1.25x-magnification with XPL).

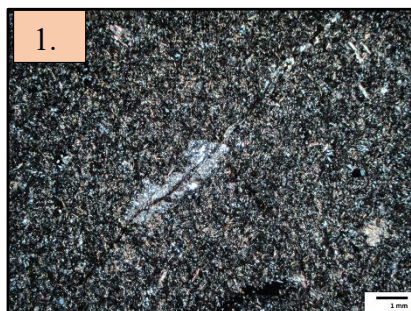
**Fig.2:** The main mineralogy consists of tremolite-actinolite group amphiboles, plagioclase, clinopyroxenes and skeletal leucoxene. (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Fractures/small vein, which is filled by epidote bearing material (2.5x- magnification with XPL).

**Fig.4:** Magnetite-hematite crystal with minor pyrite (20x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	20,48	20,83	7532640	432932,8	208,103	FIEXC102861	Reported as MML



### Description

Fine grained tholeiitic basalt.

### Mineralogy

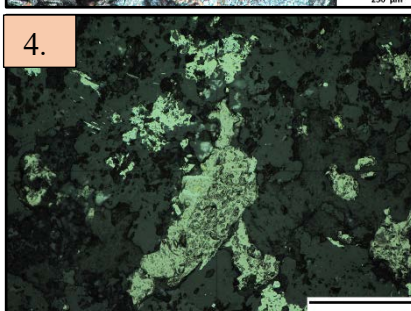
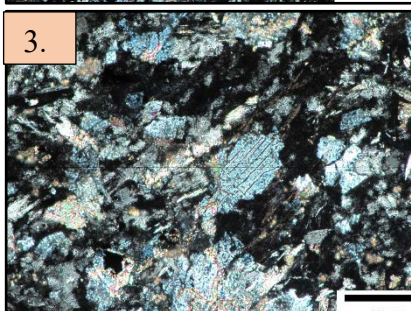
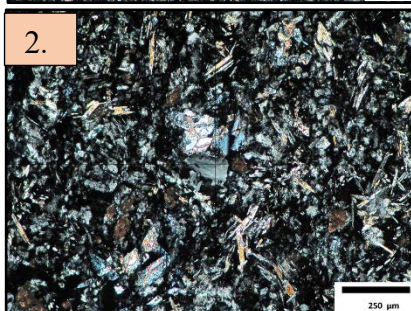
The main Mineralogy are amphiboles, microlithic plagioclase, epidote, calcite and chlorite.

### Texture

The crystals are randomly oriented, pilotaxitic structure. Epidote is mostly associated with the chlorite filled cracks and cavities.

### Sulphides and oxides

Pyrite, pyrrhotite and minor chalcopyrite occur as weak dissemination. The oxide minerals are altered titanium-iron bearing leucoxenes.



**Fig.1:** Pilotaxitic tholeiitic basalt. The most well preserved greyish clinopyroxenes are associated with the fracture (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The main mineralogy of the groundmass consists of tremolite-actinolite group amphiboles, altered plagioclase, epidote and leucoxene (10x-magnification with XPL).

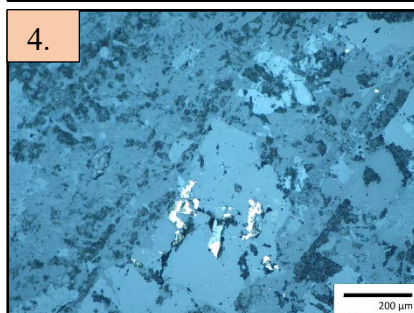
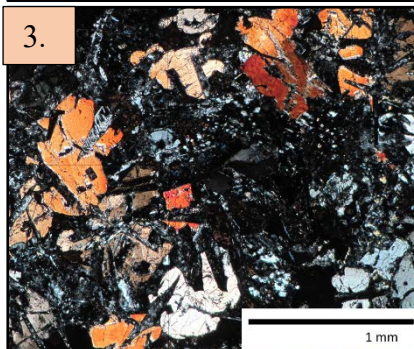
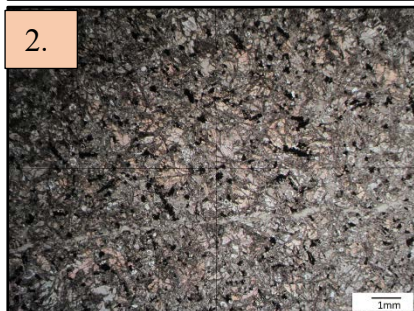
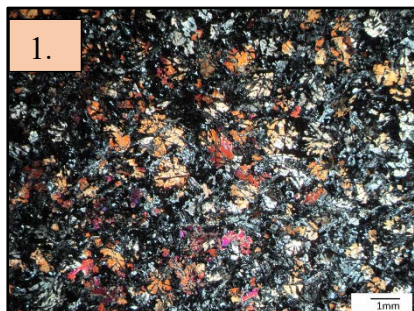
**Fig.3:** Epidote is common mineral within the fine-grained groundmass (10x- magnification with XPL).

**Fig.4:** Sulphides, such as pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite occur as weak dissemination (20x- magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Gabbroic basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	31,6	31,8	7532085	432159,6	176,062	FIKIO11 2844	Reported as MDY



## Description

Fine grained, sub-ophitic, pyroxene-plagioclase cumulate structure. Probably highly fractionated lava or mafic dike with almost simultaneously and peacefully crystallized pyroxene-plagioclase mineral assemblage. First crystallized plagioclase crystals have been partly enclosed by the shortly thereafter crystallized pyroxenes.

## Mineralogy

Matrix consists mainly of sub-ophitic clinopyroxenes and plagioclase laths. In addition to clinopyroxene, there are also orthopyroxene, but in a lesser amount.

## Texture

Sub-ophitic structure. Maximum 0,5-millimeter wide pyroxenes and plagioclase blades look like they have crystallized simultaneously and as well as into each other. Twinning and sector zoning in pyroxenes.

## Sulphides and oxides

Tiny pyrrhotite, pyrite and magnetite grains occur as trace amount dissemination

**Fig.1:** Pyroxene and plagioclase bearing subophitic mafic lava (1.25x-magnification with XPL).

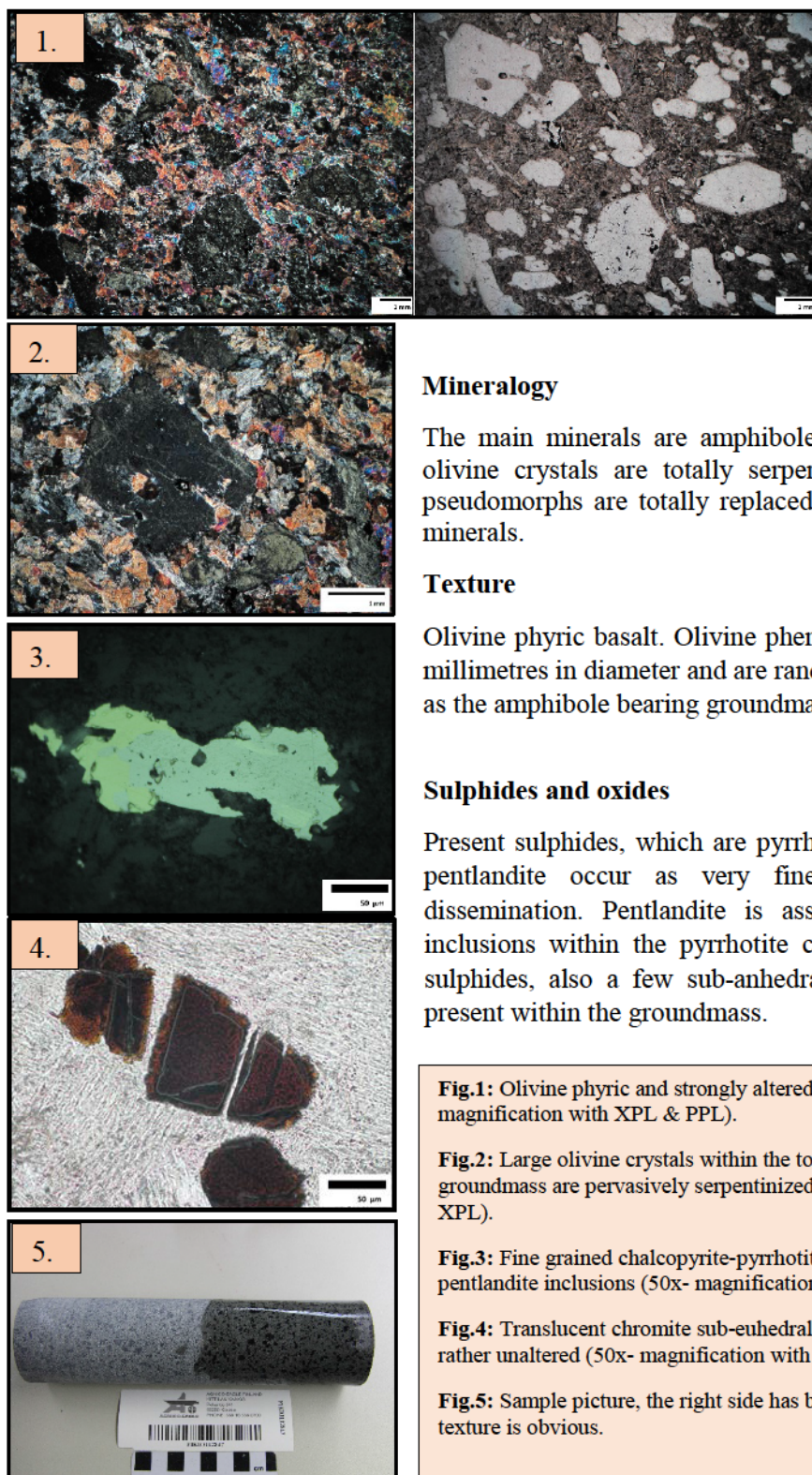
**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light. Small sized deep brown spots are skeletal leucoxene (1.25x-magnification with PPL).

**Fig.3:** The shape of pyroxenes and plagioclase indicate almost simultaneous crystallizing (10x- magnification with XPL).

**Fig.4:** Pyrite and pyrrhotite occur as very fine grained and sparse dissemination (20x- magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Olivine phyrlic basalt	KO- Komatiitic basalt	54,1	54,3	753208 1	432167, 3	155,387	FIKIO11 2847	Reported as UMV



### Description

Euhedral (six-sided) olivine phenocrystic, serpentinized and strongly amphibolized ultramafic basalt (MgO 18,7%).

### Mineralogy

The main minerals are amphiboles and serpentine. The olivine crystals are totally serpentinized and pyroxene pseudomorphs are totally replaced by amphibole group minerals.

### Texture

Olivine phyrlic basalt. Olivine phenocrysts can be up to 2 millimetres in diameter and are randomly oriented, as well as the amphibole bearing groundmass.

### Sulphides and oxides

Present sulphides, which are pyrrhotite, chalcopyrite and pentlandite occur as very fine grained and weak dissemination. Pentlandite is associated as flame-like inclusions within the pyrrhotite crystals. In addition to sulphides, also a few sub-anhedral chromite grains are present within the groundmass.

**Fig.1:** Olivine phyrlic and strongly altered ultramafic lava (1.25x-magnification with XPL & PPL).

**Fig.2:** Large olivine crystals within the totally amphibolized groundmass are pervasively serpentinized (2.5x-magnification with XPL).

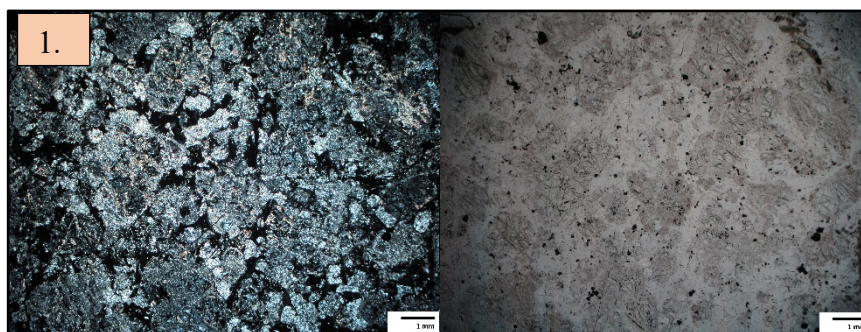
**Fig.3:** Fine grained chalcopyrite-pyrrhotite grain with tiny pentlandite inclusions (50x- magnification with reflective light).

**Fig.4:** Translucent chromite sub-euhedral chromite grains are rather unaltered (50x- magnification with PPL).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked. Porphyritic texture is obvious.

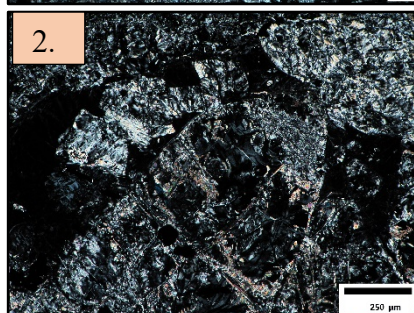


Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Olivine orthocumulate	KO - Komatiite s.s.	80	80,2	753207 6	432176, 2	131,584	FIKIO11 2849	Reported as UMW



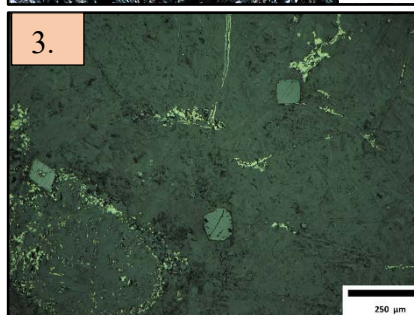
### Description

Totally serpentinized ultramafic olivine orthocumulate with minor intercumulus chromite (MgO 29.1%).



### Mineralogy

Olivine grains up to 1-2 mm diameter are totally replaced by serpentine and sulphides. Very fine-grained carbonates and talc associated within the fractures in altered olivine crystals.



### Texture

Totally altered cumulatic texture.

### Sulphides and oxides

Very fine grained pyrrhotite, pentlandite and chalcopyrite dissemination, also associated with the altered olivine structures. Chromite occurs as sparse intercumulus mineral and is partly altered to magnetite, in which case it occurs as alteration rim.



**Fig.1:** Pervasively altered olivine-orthocumulate (1.25x-magnification with XPL & PPL).

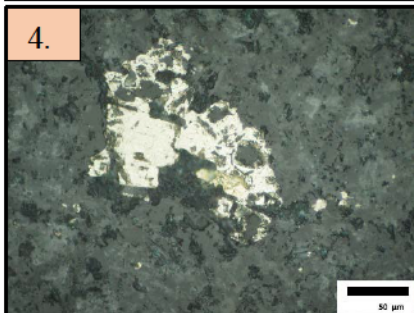
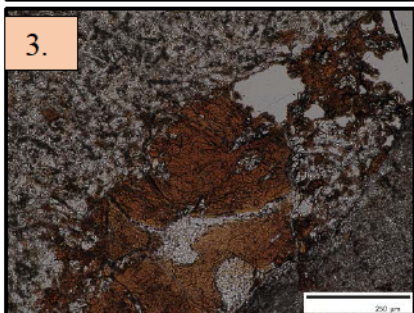
**Fig.2:** Altered olivine pseudomorphs are totally replaced by serpentine, chlorite, talc and carbonates (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Fine grained sulphides are mainly associated with the altered olivines. Chromites occur as accessory intercumulus minerals (50x- magnification reflective light).

**Fig.4:** Euhedral chromite grains with thin magnetite alteration rim (50x- magnification with PPL).

**Fig.5:** Sample picture of the serpentinized olivine cumulate, the right side has been soaked.

Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3	E_TM35	Z_TM3	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop	7537179	429958,5	233,640 4	FIEXC10 2914	Reported as volcanic breccia



## Description

Sheared and brecciated, aphanitic basalt.

## Mineralogy

The main minerals are amphiboles, epidote and acicular plagioclase.

## Texture

Brecciated and sheared structure. Epidote has preserved in strongly altered groundmass and occurs occasionally within cleavages (3<sup>th</sup> figure).

## Sulphides and oxides

Weak, very fine grained disseminated pyrite and pyrrhotite.

**Fig.1:** Aphanitic and brecciated tholeiitic basalt (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light. Brecciated and sheared texture clearly visible (1.25x-magnification with PPL).

**Fig.3:** Also, epidote is strongly altered, but stands out by its higher birefractance and distinct color (20x-magnification with PPL).

**Fig.4:** Pyrite and pyrrhotite occur as weak dissemination (50x-magnification with reflective light).

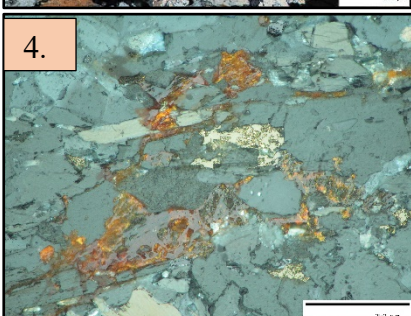
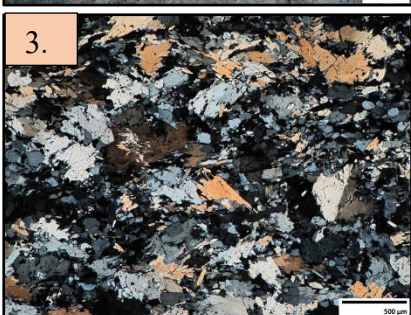
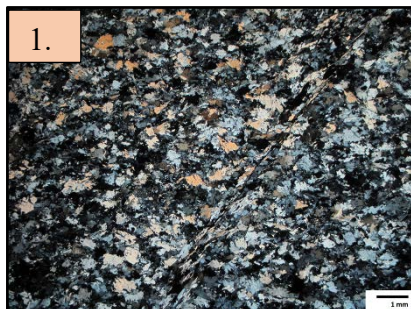
**Fig.5:** Sample picture of the brecciated lava.

**Fig.6:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Outcrop field	7554495	432694,9	324,576 2	FIEXC1 02911	Reported as MML



## Description

Fine grained, tremolite-actinolite series amphibole bearing mafic lava.

## Mineralogy

The mineral assemblage consists mainly of tremolite-actinolite amphiboles/hornblende and fine-grained plagioclase feldspars.

## Texture

Fine to medium grained amphibole bearing lava with randomly oriented pilotaxitic mineral habit. Smaller plagioclase crystals between amphiboles occur as intercumulus minerals

## Sulphides and oxides

Sulphides are mostly pyrrhotite and pyrite, oxides are magnetite-hematite.

**Fig.1:** Amphibole bearing mafic lava (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light. Partly fractured and sheared texture clearly visible (1.25x-magnification with PPL).

**Fig.3:** Amphibole bearing groundmass shows unoriented habit. Fine grained and rounded feldspars occur as accessory mineral between amphiboles (5x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Opaque minerals are magnetite-hematite and pyrite (20x-magnification with reflective light).

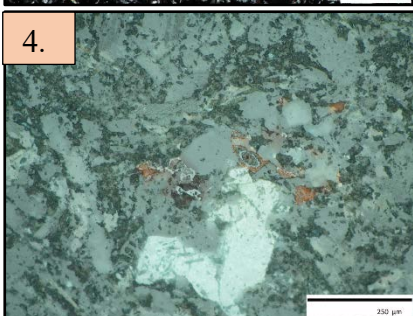
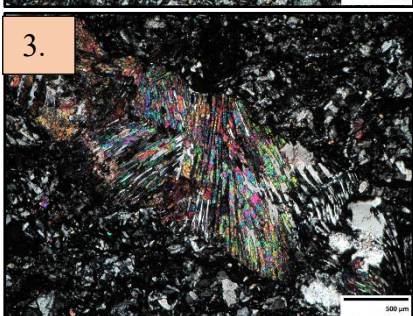
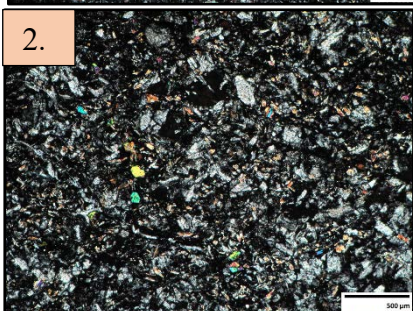
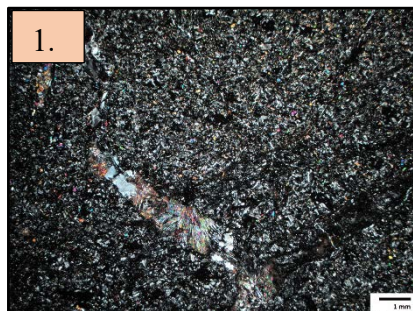
**Fig.5:** Sample picture of the brecciated lava.

**Fig.6:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Outcrop field	7523608	429689,2	231,072 6	FIEXC10 2904	Reported as MML



## Description

Fine grained microlithic plagioclase, epidote and amphibole bearing basaltic lava. Rather unaltered appearance.

## Mineralogy

Weakly chloritized matrix consists of plagioclase feldspars, amphiboles, leucoxene and epidote.

## Texture

Fine grained and pilotaxitic matrix, which is cut by one epidote filled cleavage.

## Sulphides and oxides

Oxides are mostly magnetite and skeletal shaped leucoxene.

**Fig.1:** Rather unaltered tholeiitic basalt, which is cut by possibly later vein epidote (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The main mineralogy consists of fine grained pyroxenes and plagioclase laths (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Close-up of the epidote vein (5x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Opaque minerals are magnetite and skeletal leucoxene (20x- magnification with reflective light).

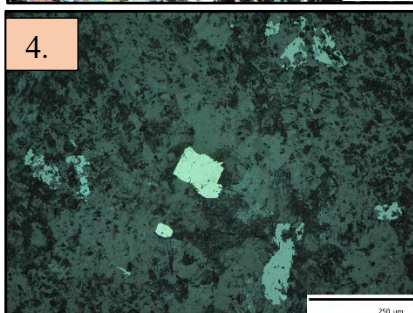
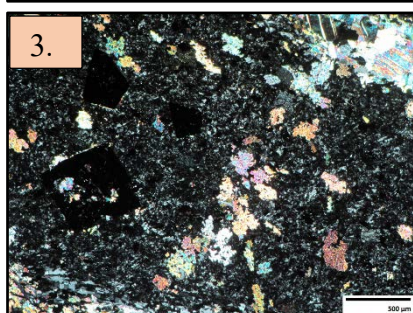
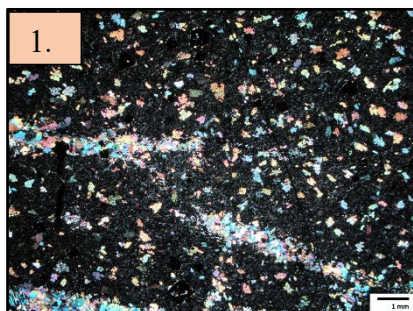
**Fig.5:** Sample picture.

**Fig.6:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Trench	7547648	431873,1	336,324 7	FIEXC10 2916	Reported as MPL



## Description

Fine grained altered plagioclase feldspar and amphibole bearing tholeiitic lava with regular calcite and magnetite dissemination.

## Mineralogy

Main minerals are plagioclase, amphiboles, magnetite, chlorite and calcite. Euhedral magnetite grains are up to 0,5 cm diameter and the groundmass is strongly carbonatized and weakly altered to chlorite.

## Texture

The groundmass shows randomly oriented characteristic, where the calcite and magnetite crystals have grown remarkably larger than the very fine-grained and almost unrecognizable feldspar-amphibole matrix.

## Sulphides and oxides

Regular, sub-euhedral magnetite dissemination. Pyrite occurs as accessory mineral.

**Fig.1:** Tholeiitic basalt with regular magnetite and carbonate dissemination (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light. Euhedral magnetite crystals stand out clearly (1.25x-magnification with PPL).

**Fig.3:** Fine grained and altered minerals within the groundmass can be hardly identified. (5x-magnification with XPL).

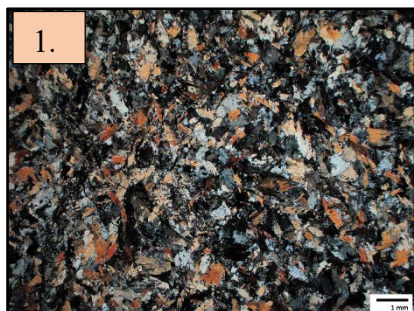
**Fig.4:** Pyrite occurs as accessory mineral in the magnetite dominant sample (20x- magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture.

**Fig.6:** Outcrop picture, GPS-device as scale.



Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Metagabbro	TH - high-Mg tholeiite basalt	Block Field	7552269	433556,5	328,569 7	FIEXC1 02921	Reported as metagabbro



### Description

Medium grained and amphibole bearing gabbroic sample. The weathered block field at the top of the northern peak of the Outa-Perttunen hill is more like intrusive gabbro (Figures 1 and 5), hypabyssal dyke or the grain size increase due the amphibole facies metamorphism.

### Mineralogy

Main minerals are tremolite-actinolite series amphiboles and hornblende, minor plagioclase and epidote. Fibrous serpentine minerals occur in cleavages.

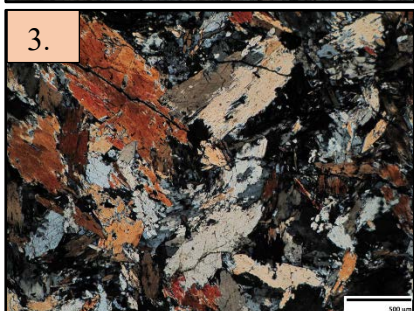
### Texture

Medium grained (the length of the elongated amphiboles up to 1 millimetre) and randomly oriented mineral texture.



### Sulphides and oxides

The opaque minerals are magnetite and pyrrhotite, which occur as weak, irregular dissemination.



**Fig.1:** Medium grained and amphibole bearing mafic volcanite (1.25x-magnification with XPL).

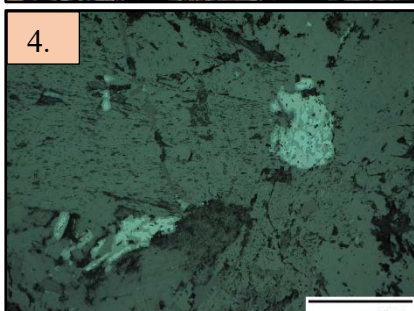
**Fig.2:** Figure 1 presented in plane polarized light (1.25x-magnification with PPL).

**Fig.3:** Amphibole minerals can be up to 1-millimetre long. Serpentine, epidote and plagioclase occur in minor amounts (5x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Magnetite and pyrrhotite occur as irregular dissemination (20x- magnification with reflective light).

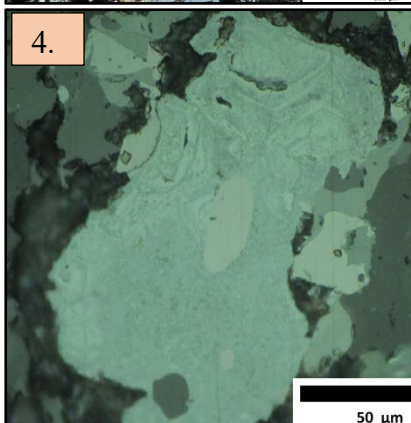
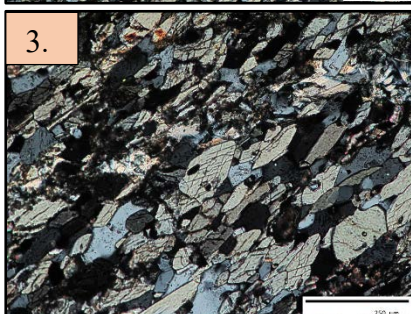
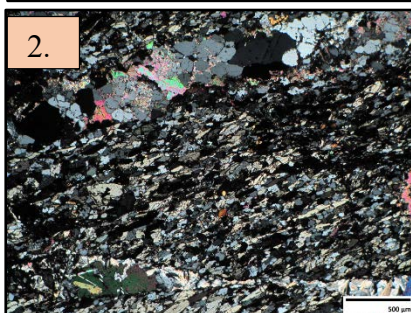
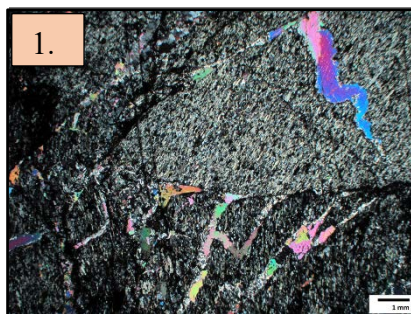
**Fig.5:** Sample picture.

**Fig.6:** Outcrop picture, hammer as scale.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3	E_TM3	Z_TM3	Sample number	Grab sample
Amphibolite	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop field	755459 5	443762, 9	290,951 4	FIEXC1 02896	Reported as volcanic mafic



## Description

Fine grained, brecciated and sheared amphibolite.

## Mineralogy

The main minerals are amphiboles and fine-grained plagioclase. Amphibole group minerals consists mainly of actinolite-hornblende due the greenish to bluish shade of pleochroism. In addition to them, also epidote is present as accessory mineral. Cleavages and fractures are filled by carbonate.

## Texture

Matrix, which consists mainly of amphibole minerals and plagioclase has a clearly oriented characteristic.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals occur as weak, fine grained dissemination and the main minerals are pyrite and altered magnetite-hematite with zonal relicts.

**Fig.1:** Fine grained and sheared amphibolite (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The main minerals in the groundmass in addition to amphiboles are minor epidote, carbonates and feldspars (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Amphiboles are oriented (20x-magnification with XPL).

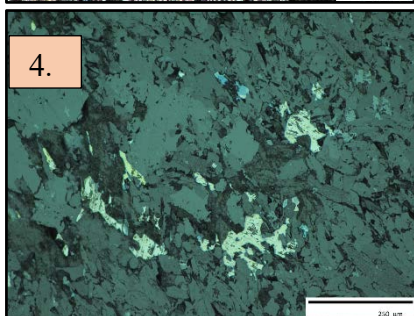
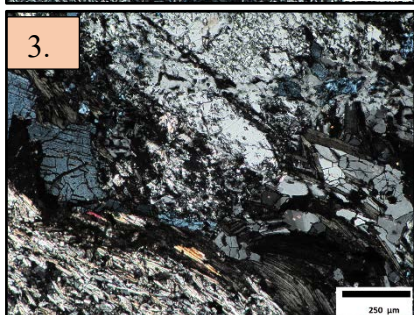
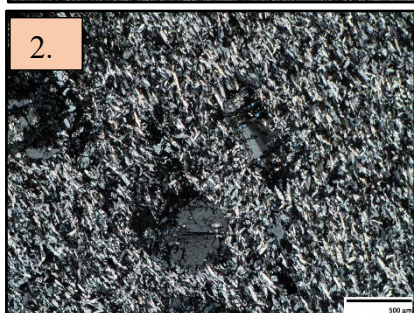
**Fig.4:** Zonal relicts, which could indicate metamorphic growth visible on pyrite-magnetite grain (50x- magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture: layered and weakly banded amphibolite.

**Fig.6:** The amphibolite outcrop, hammer as scale.



Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Trench	7549310	433818,3	287,072 6	FIEXC10 2908	Reported as mafic lava



## Description

Aphanitic, amphibole, serpentine and altered plagioclase bearing matrix where some larger albite phenocrysts have preserved (Figures 1 and 2).

## Mineralogy

Matrix consists of fine grained plagioclase, serpentine, tremolite-actinolite series amphiboles, epidote and albite phenocrysts. Fine grained amphiboles show pale green to almost colorless characteristic, which indicates more magnesium bearing, tremolitic composition.

## Texture

The fine grained altered plagioclase and amphibole groundmass is clearly oriented, trachytic. Serpentine is present usually within cleavages (Figure 3).

## Sulphides and oxides

Weak, fine grained magnetite and pyrrhotite dissemination.

**Fig.1:** Aphanitic tholeiitic basalt with coarser opx phenocrysts (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The fine-grained groundmass consists of microlithic plagioclase, tremolite-actinolite series amphiboles and serpentine (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Epidote and serpentine filled cleavage (5x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Pyrrhotite and magnetite occur as weak dissemination (20x-magnification with reflective light).

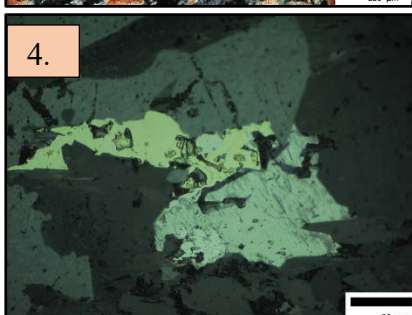
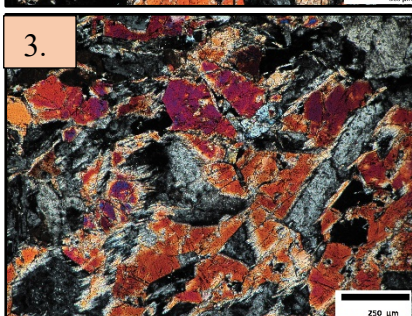
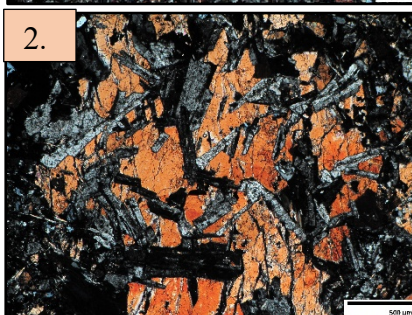
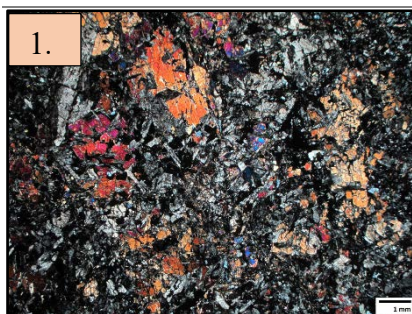
**Fig.5:** Sample picture:

**Fig.6:** The sampling site at Outa-Perttunen trench, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Gabroic basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Outcrop	7528025	430232,1	203,393 1	FIEXC10 2915	Reported as mafic lava



## Description

Fine to medium grained tholeiitic basalt with subophitic, pyroxene-plagioclase cumulate structure (Fig.1). The mineral texture shows probably highly fractionated lava with almost simultaneously crystallized pyroxene and plagioclase bearing mineral assemblage. First crystallized plagioclase crystals have been enclosed by the shortly thereafter crystallized pyroxenes.

## Mineralogy

Matrix consists mainly of angular shaped ortho- and clinopyroxenes, blady plagioclase laths and amphiboles which may be alteration products of pyroxenes (3<sup>th</sup> figure). Skeletal leucoxene minerals can also be count as main mineral, due its substantial number.

## Texture

Subophitic structure. Maximum 1-millimeter diameter pyroxenes and plagioclase blades look like they have crystallized simultaneously and as well as into each other (Fig.2). Twinning and sector zoning in some of the pyroxenes.

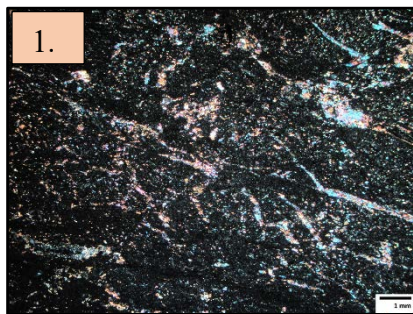
## Sulphides and oxides

Very fine grained and sparse opaque minerals are pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite and magnetite (Fig.4).

- Fig.1:** Subophitic pyroxene and plagioclase bearing lava (1.25x-magnification with XPL).
- Fig.2:** The crystal texture indicates almost simultaneous crystallization, pyroxenes are later (5x-magnification with XPL).
- Fig.3:** Amphibolization of the pyroxenes occur clearly as brighter interference color and fibrous overprint (10x-magnification with XPL).
- Fig.4:** Pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite and magnetite occur as weak dissemination (50x- magnification with reflective light).
- Fig.5:** Sample picture.
- Fig.6:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.



Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop	7527236	424998,1	219,652 8	FIEXC10 2894	Reported as pillow lava



### Description

Sheared, brecciated and very fine grained basaltic lava with carbonate filled fractures.

### Mineralogy

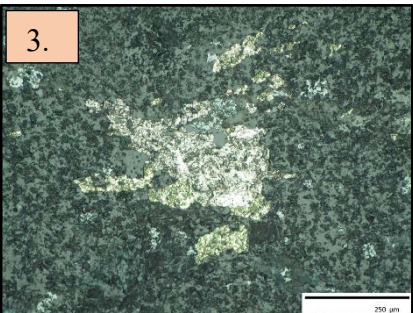
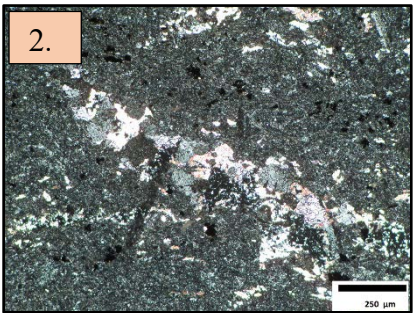
The aphanitic matrix consists of altered plagioclase, calcite and epidote.

### Texture

The matrix shows randomly oriented, pilotaxitic mineral appearance. Rather well-preserved epidote crystals occur within cleavages and are accompanied by calcite.

### Sulphides and oxides

Opaque minerals are pyrrhotite, pyrite and magnetite which occur as weak dissemination.



**Fig.1:** Sheared and brecciated tholeiitic basalt (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Rather large epidote crystals preserved within carbonate filled cleavages (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pyrrhotite, pyrite and magnetite occur as weak dissemination (20x-magnification with reflective light).

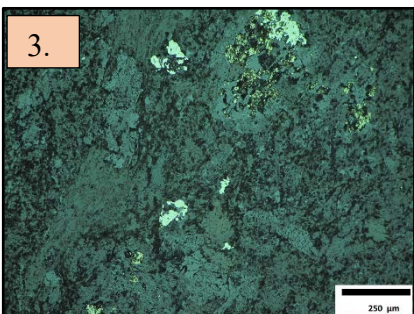
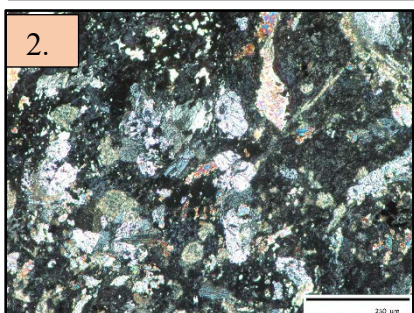
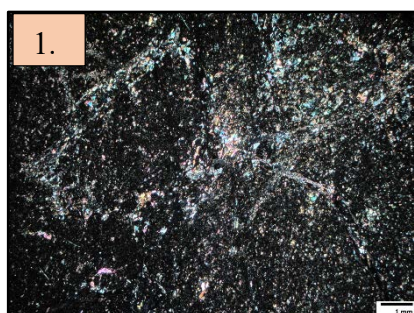
**Fig.4:** Sample picture.

**Fig.5:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop	7532412	420072,3	205,471 8	FIEXC10 2895	Reported as pillow lava



## Description

Fine grained tholeiitic basalt with chlorite-sericite filled cleavages.

## Mineralogy

The aphanitic matrix consists of altered plagioclase, chlorite, calcite, sericite and epidote. Chlorite and sericite are mainly associated with fractures.

## Texture

Fine grained epidote and carbonate crystals are enclosed in aphanitic, almost unrecognizable matrix. The matrix and preserved crystals show mostly randomly oriented, pilotaxitic structure. The appearance of the minerals within the chlorite-sericite filled cleavages is slightly oriented and elongated.

## Sulphides and oxides

The present opaque minerals are skeletal leucoxene minerals, pyrrhotite, pyrite and chalcopyrite.

**Fig.1:** Aphanitic tholeiitic basalt with chlorite-sericite filled cleavages (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Epidote crystals can be clearly identified from the strongly altered groundmass (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Altered Ti-oxides, pyrrhotite and pyrite occur as weak dissemination (10x-magnification with reflective light).

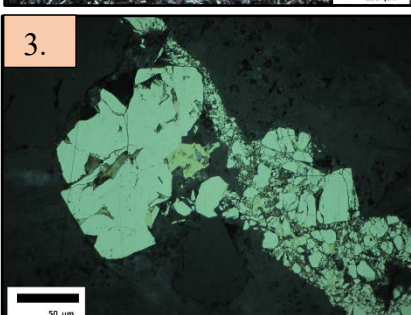
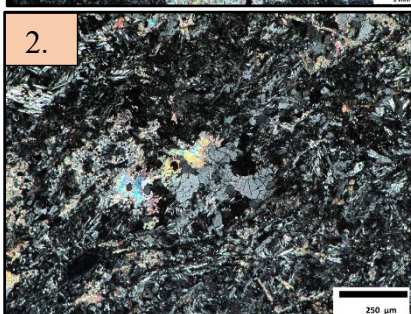
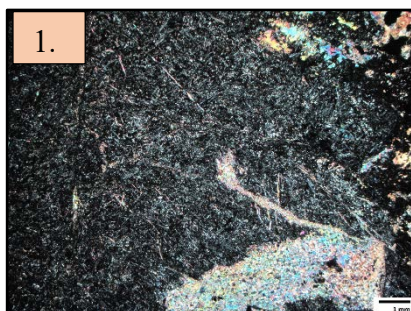
**Fig.4:** Sample picture.

**Fig.5:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop	7541099	431613,3	231,260 5	FIEXC1 02898	Reported as pillow lava



## Description

Fine grained, weakly brecciated basaltic lava.

## Mineralogy

The fine-grained matrix consists mainly of tremolite-actinolite series amphiboles, altered plagioclase, epidote and carbonates. Needle-like amphiboles show mostly pale green to almost colorless pleochroism indicating low iron content of the amphiboles.

## Texture

Randomly oriented, pilotaxitic mineral texture. A few larger epidote grains have preserved within strongly amphibolized matrix.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals are pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite and magnetite. Also, fine grained and skeletal leucoxene minerals are common.

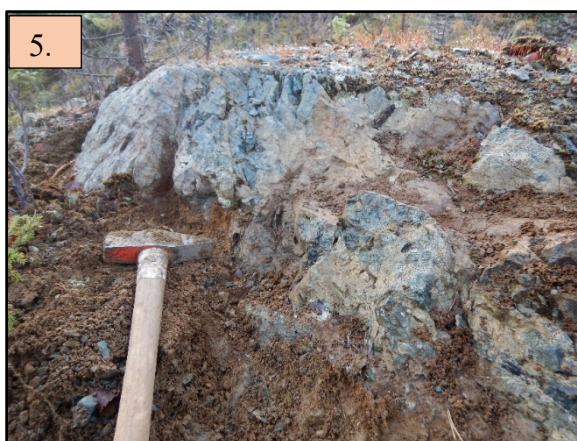
**Fig.1:** Aphanitic tholeiitic basalt with calcite filled cleavages (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Some epidote crystals have been preserved within the amphibole and plagioclase bearing groundmass (20x-magnification with XPL).

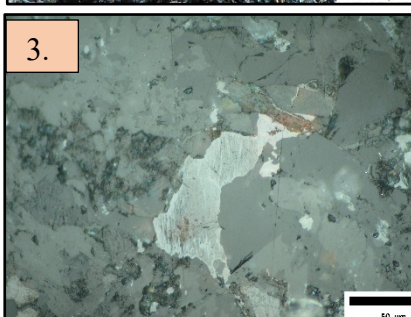
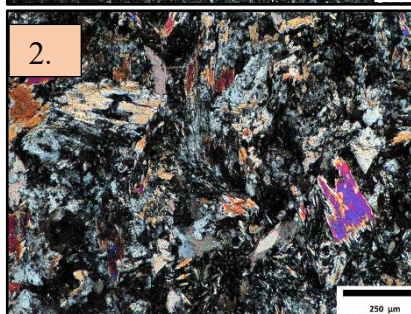
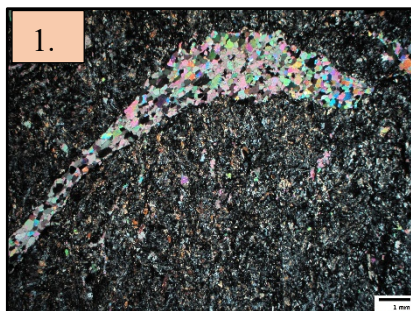
**Fig.3:** Pyrite with minor chalcopyrite and magnetite (50x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture.

**Fig.5:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.



Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Outcrop	7540206	439501	260,081 4	FIEXC10 2902	Reported as MML



## Description

Fine grained basalt with altered, serpentine bearing matrix.

## Mineralogy

The main minerals are tremolite-actinolite series amphiboles, serpentine, plagioclase and carbonates. Pyroxenes-(olivines?) probably totally replaced by serpentine (Fig.2).

## Texture

Pilotaxitic and weakly brecciated structure. Carbonate filled cleavages seem to be formed at later stage (Fig1).

## Sulphides and oxides

The opaque minerals are mostly magnetite-hematite (Fig.3).

**Fig.1:** Aphanitic tholeiitic basalt with a calcite filled cleavage (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The fine-grained groundmass consists of amphiboles, serpentine, plagioclase and carbonates (possible, totally serpentinized olivine-pyroxene pseudomorphs in the lower left side) (20x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Fine grained magnetite-hematite (50x-magnification with reflective light).

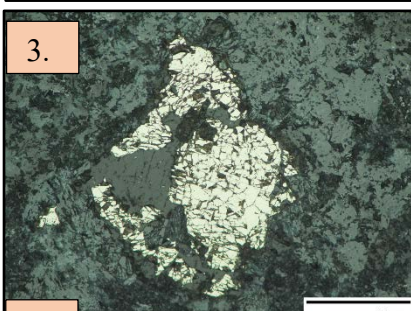
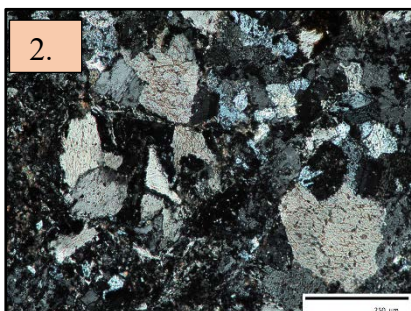
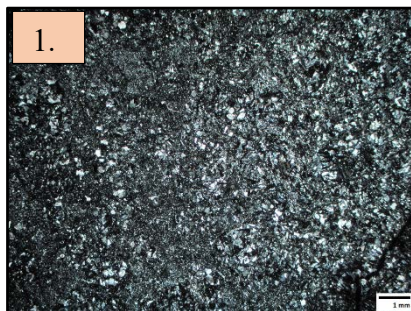
**Fig.4:** Sample picture.

**Fig.5:** Outcrop picture, hammer shank pointing towards north.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	Outcrop	7540295	426135,1	213,039 5	FIEXC1 02918	Reported as mafic volcanic rock



## Description

Fine grained basaltic lava.

## Mineralogy

The main minerals are tremolite-actinolite series amphiboles, epidote and altered plagioclase. Amphiboles have Fe-bearing composition due to the clear, greenish tint.

## Texture

Cleavages, characteristic for amphibole minerals are clearly visible in several crystals. The minerals structure is randomly oriented and very fine grained, pilotaxitic.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals, which are pyrite, magnetite and titanium oxides occur as weak dissemination.

**Fig.1:** Aphanitic and pilotaxitic tholeiitic (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The fine-grained groundmass consists of amphiboles, plagioclase and epidote (20x-magnification with XPL).

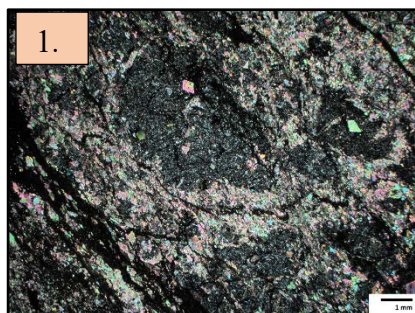
**Fig.3:** Pyrite and magnetite occur as weak dissemination (20x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture.

**Fig.5:** Outcrop picture, hammer as scale. The fracturing of the basalt resembles somehow pillow structures or lying columnar basalts.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	129,0 4	129, 37	754554 9	421024, 5	161,85 2	FIEXC1 02877	Reported as MaficVolc



## Description

Sheared, brecciated, strongly carbonatized and fine-grained basalt. The structure of the sample resembles partially pyroclastic rock with a few coarser fragments.

## Mineralogy

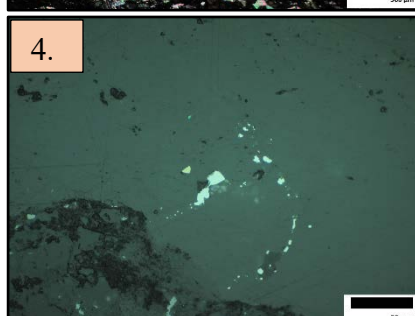
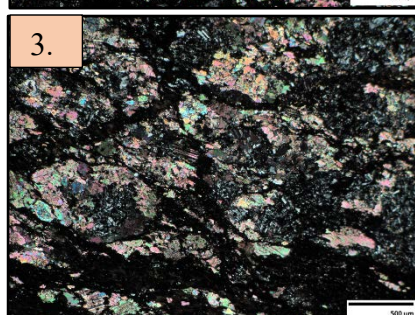
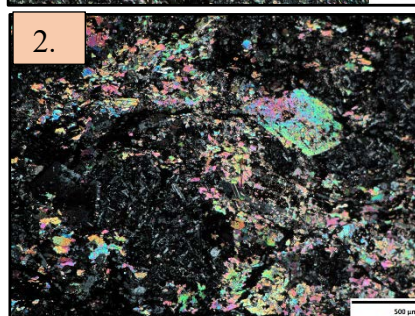
The recognizable main minerals are plagioclase-albite feldspars, chlorite, serpentine and carbonate minerals.

## Texture

The structure of the sample is brecciated, and minerals have formed roundish and occasionally slightly rotated "grain accretions/clusters".

## Sulphides and oxides

Extremely fine grained opaque grains are most likely magnetite-pyrrhotite and chalcopyrite.



**Fig.1:** Strongly carbonatized, chloritized and brecciated basalt (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Carbonates, albite, chlorite and serpentine are the main minerals, which can be identified from the altered groundmass (5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Grain clusters have been formed within the most brecciated parts and they are occasionally slightly rotated (5x-magnification with XPL).

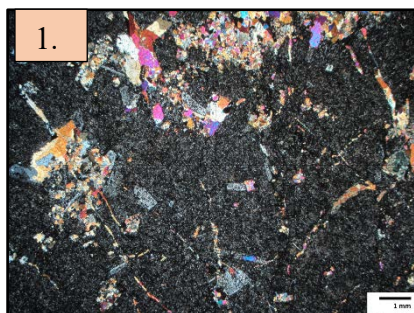
**Fig.4:** Extremely fine-grained sulphides are probably chalcopyrite and magnetite-pyrrhotite (50x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked.





Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	CA - Basalt	174,7 1	174, 95	754035 8	425522, 1	85,402	FIEXC1 02886	Reported as MPL



### Description

Fine grained epidote, plagioclase and amphibole bearing matrix with larger clinopyroxene/augite and plagioclase phenocrysts.

### Mineralogy

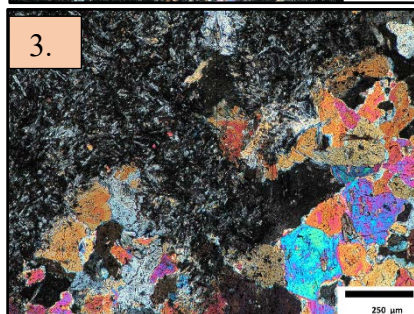
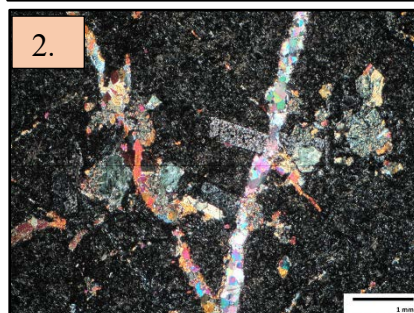
The main minerals are amphiboles, plagioclase, calcite, epidote, chlorite and clinopyroxene or augite. Small crosscutting epidote and carbonate bearing veins. Plagioclase phenocrysts are strongly epidote altered.

### Texture

Fine grained plagioclase and amphibole laths in the matrix are slightly oriented, possibly due the magma flow (trachytic). Clinopyroxene bearing vein seem to have been crystallized at later stage, due to its weakly altered and euhedral crystal shapes.

### Sulphides and oxides

Opaque minerals are mostly pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite. Large po-py-cpy grain clusters are associated with the clinopyroxene bearing vein (Figures 3 & 4).



**Fig.1:** Fine-grained basalt with clinopyroxene and strongly epidotized plagioclase phenocrysts (1.25x-magnification with XPL).

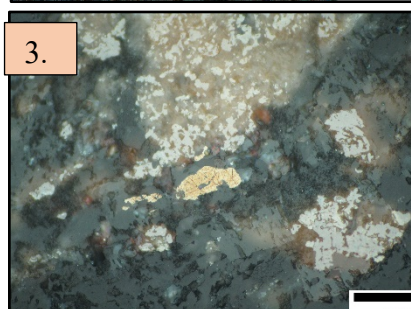
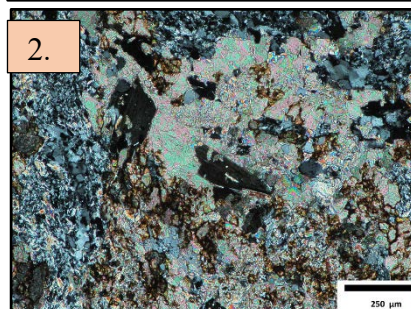
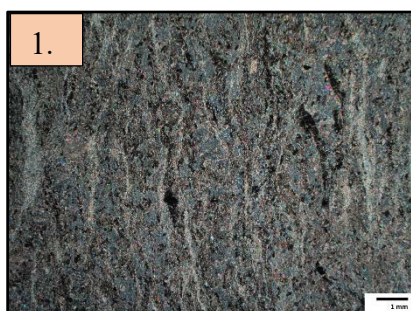
**Fig.2:** Epidotized plagioclase phenocrysts are mostly associated with the epidote, cpx and carbonate bearing vein/fracture (2.5x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Clinopyroxene filled vein in the lower part of the sample, possibly later due the weakly altered and euhedral crystal forms (10x-magnification with XPL).

**Fig.4:** Po-py-cpy grain clusters are associated with the clinopyroxene bearing vein (1.25x-magnification with reflective light).

**Fig.5:** Sample picture, the right side has been soaked. Epidote shows in light green color as spots and cleavages.

Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3	E_TM35	Z_TM3	Sample number	Grab sample
Altered mafic lava	CA - Basalt	Trench	7544945	421062,6	307,933 8	FIEXC10 2897	Reported as Mafic lava



## Description

Totally altered mafic volcanic rock, probably a quartz-feldspar porphyry which is altered in several stages. The green color on the sample and outcrop pictures may be reason by the intensive D3-stage shearing related sericite alteration at the Kellolaki area, which is overprinting the previous carbonate and albite alterations (*Saalmann, Kerstin, and Tero Niiranen., 2010. "Hydrothermal alteration and structural Hanhimaa shear zone and western part of the Sirkka Line."*).

## Mineralogy

The main minerals are carbonates, plagioclase-albite, tremolite-actinolite series amphiboles, quartz and sericite.

## Texture

Sheared and clearly foliated structure. Some recognizable amphibole crystals preserved within the pervasively altered groundmass.

## Sulphides and oxides

Sulphides are pyrite, possibly arsenopyrite and two possible gold/gold alloy grains (4<sup>th</sup> figure).

**Fig.1:** Pervasively carbonate sericite altered lava. Strongly sheared texture (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Identified main minerals from the altered groundmass are carbonates, albite, tremolite-actinolite series amphiboles, quartz and sericite (10x-magnification with XPL).

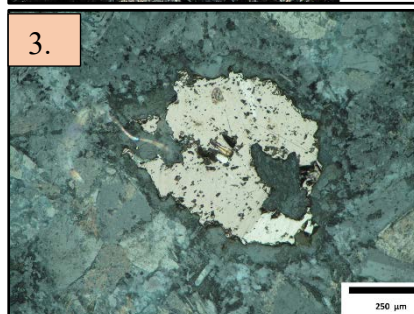
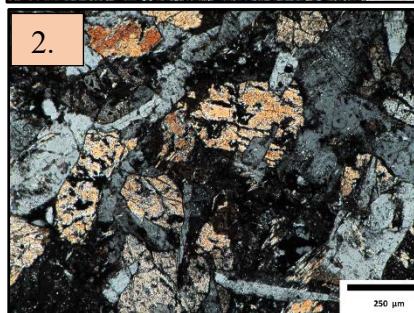
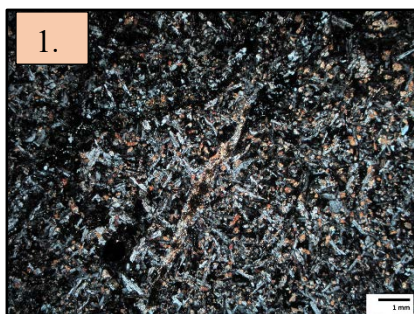
**Fig.3:** Possible gold/gold alloy grain stands out by its bright and soft characteristic (50x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture of totally altered, greenish mafic lava

**Fig.5:** Sampling site at the Kiimalaki trench, hammer shank pointing towards north.



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	139,6 4	139, 96	753716 9	432451, 2	80,393	FIEXC1 02856	Reported as MPL



## Description

Rather unaltered, subophitic pyroxene and plagioclase bearing basalt.

## Mineralogy

The matrix consists of plagioclase, amphiboles, chlorite, leucoxene and pyroxenes. sub-euhedral plagioclase and pyroxenes have been crystallized almost simultaneously. First crystallized plagioclase crystals are partly enclosed by the shortly thereafter crystallized pyroxenes (Figure 2).

## Texture

Plagioclase and clinopyroxenes occur as sub-ophitic structure.

## Sulphides and oxides

Opaque minerals occur as weak dissemination and they are pyrite, pyrrhotite and altered titanium oxides.

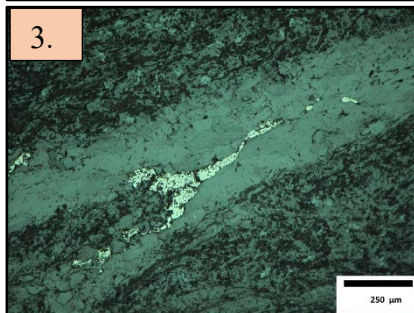
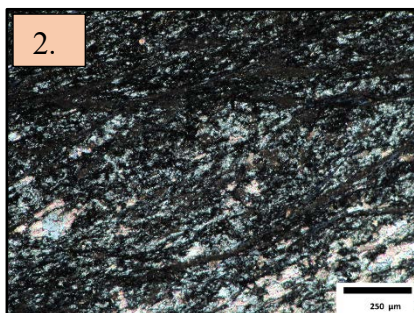
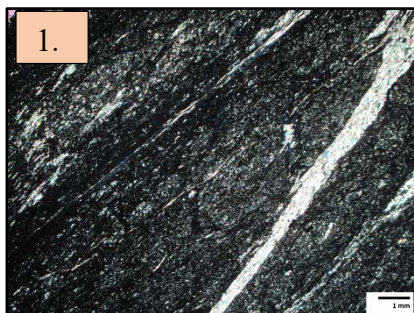
**Fig.1:** Subophitic pyroxene and plagioclase bearing tholeiitic basalt (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Euhedral pyroxenes partly enclosing formerly crystallized plagioclase crystals (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pyrrhotite and altered Ti-oxides are common opaques (10x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked

Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM 35	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Fe tholeiite basalt	29,07	29,3 7	753439 8	426177, 5	181,12 2	FIEXC1 02853	Reported as MPL



## Description

Foliated, aphanitic, pinch and swell structured basalt with carbonate filled fractures.

## Mineralogy

Matrix consists of fine-grained plagioclase, amphiboles, carbonates, epidote and chlorite.

## Texture

Clearly oriented mineral texture, possibly due to the magma flow orientation (trachytic) or by later stage foliation and shearing, which also forms also microscale brecciation and pinch and swell structures (Fig.2).

## Sulphides and oxides

Opaque minerals are pyrrhotite, pyrite and magnetite and they occur as fine-grained dissemination and associated with carbonate filled fractures (Fig. 3).

**Fig.1:** Foliated and fine grained tholeiitic basalt with carbonate filled fractures (1.25x-magnification with XPL).

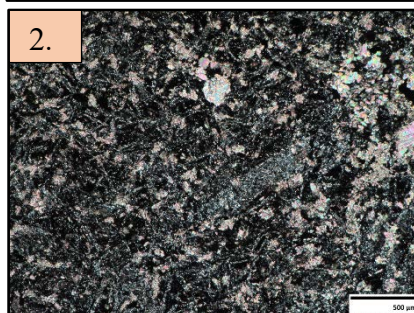
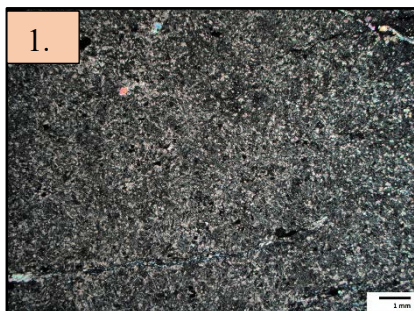
**Fig.2:** Pinch and swell textures in the plagioclase, amphibole, epidote and carbonate bearing groundmass (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pyrrhotite, pyrite and magnetite associated with the carbonate filled fracture (10x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked



Rock class	JENSEN-classification	From	To	N_TM3 5	E_TM3 5	Z_TM3 5	Sample number	Drill hole
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	827,8 8	827, 2	7533181	432698,8	- 567,603	FIEXC1 02854	Reported as MML



## Description

Pilotaxitic-interstitial textured basaltic lava. Brown, altered and unrecognizable mess enclosed between plagioclase laths.

## Mineralogy

Recognizable main minerals are plagioclase, some epidote, carbonates and chlorite.

## Texture

The texture of the groundmass is randomly oriented and reminds intersertal. The structure is formed by plagioclase crystals, which encloses glassy, fine grained and messy looking spaces between them (Figure 2). Also, some exsolution structures visible on pyroxenes occasionally.

## Sulphides and oxides

Weak pyrrhotite, chalcopyrite and pyrite dissemination.

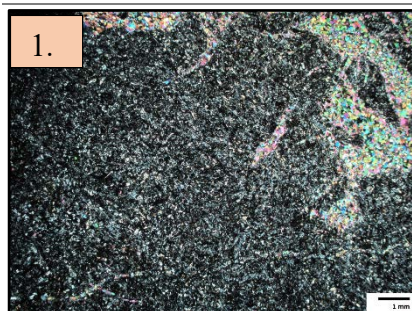
**Fig.1:** Fine grained pilotaxitic-interstitial textured basalt (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** The groundmass is strongly altered, and the main minerals are hardly recognizable (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pyrrhotite as well as pyrite and chalcopyrite occur as weak dissemination (10x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked

Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM3 5	E_TM35	Z_TM3 5	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Outcrop	7544043	419257,2	209,604 5	FIEXC1 02909	Reported as pillow lava



### Description

Very fine-grained amphibole, epidote and microlithic plagioclase bearing mafic, pillow structured lava with carbonate filled fractures.

### Mineralogy

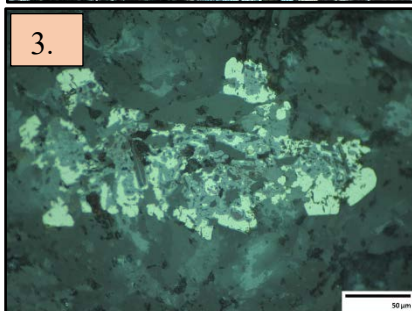
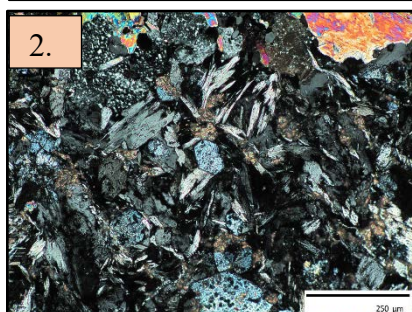
The main minerals are tremolite-actinolite series amphiboles, epidote, plagioclase feldspars and carbonates. The amphibole minerals have probably more magnesium bearing composition due to an almost colorless to only a very weakly greenish tint on plane polarized light.

### Texture

Euhedral epidote crystals seem to be strongly altered weathered and partly sieve textured. Texture in the groundmass is equigranular and randomly oriented, pilotaxitic.

### Sulphides and oxides

Very fine grained opaque minerals are magnetite-hematite and pyrite and they occur as weak dissemination.



**Fig.1:** Fine grained tholeiitic pillow lava with calcite filled fractures (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Euhedral epidote have preserved rather unaltered within the amphibole, plagioclase and calcite bearing groundmass (20x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Magnetite-hematite accompanying pyrite (50x-magnification with reflective light).

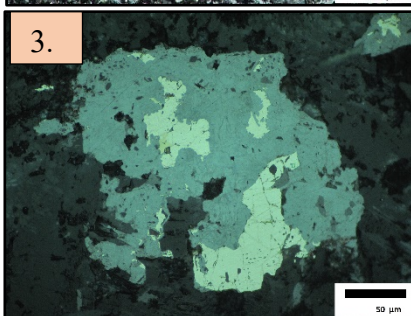
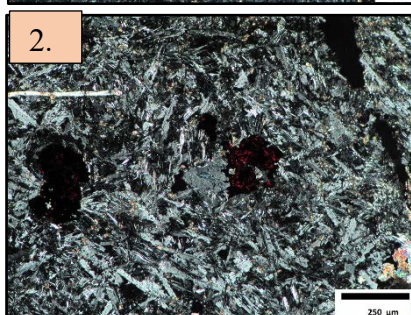
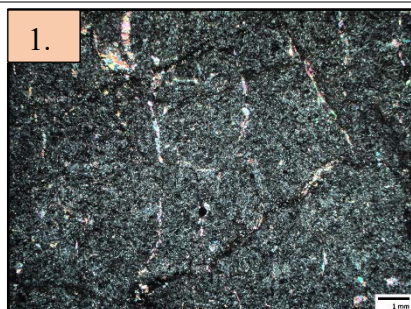
**Fig.4:** Sample picture, the right side has been soaked

**Fig.5:** Pillow structured outcrop, hammer as scale.





Rock class	JENSEN-classification	From	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Sample number	Grab sample
Basalt	TH - high-Mg tholeiite basalt	Outcrop	7540070	419443,3	182,525 1	FIEXC10 2917	Reported as pillow lava



## Description

Weakly fractured, tremolite-actinolite amphibole bearing mafic pillow lava.

## Mineralogy

The main minerals are plagioclase, epidote, chlorite, carbonates and amphiboles. Tremolite is predominant of the amphibole due to its colourless pleochroisms, more greenish actinolite occur as minor amounts.

## Texture

The fine-grained plagioclase-albite laths shows unoriented habit (pilotaxitic) and they are accompanied and partly overprinted by later, secondary fibrous tremolite amphiboles.

## Sulphides and oxides

Occurring opaque minerals are hematite-magnetite, pyrite and chalcopyrite.

**Fig.1:** Fine grained tholeiitic pillow lava with calcite filled fractures (1.25x-magnification with XPL).

**Fig.2:** Deep red colored hematite crystals within the amphibole, plagioclase and pyroxene bearing groundmass (10x-magnification with XPL).

**Fig.3:** Pyrite and minor chalcopyrite accompanied by magnetite-hematite (the deep red crystal from the right side of Fig.2) (50x-magnification with reflective light).

**Fig.4:** Sample picture, wet surface.

**Fig.5:** Pillow structured outcrop, hammer shank pointing towards north.

## Liite 2: Geokemialliset analyysit

sample	GROUP	Petrology	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Cd	Ce	Dy	Er	Eu	Gd
FIEXC102851	VESMAJÄRVI	MPL	7534554	427207,9	48,54	0,2	9,8	2,9	1,7	0,69	2,51
FIEXC102853	VESMAJÄRVI	MPL	7534398	426177,5	181,122	0,2	11,4	5,2	3,04	1,25	4,4
FIEXC102854	VESMAJÄRVI	MML	7533181	432698,8	-567,603	<0.1	6,4	3,4	2,34	0,68	2,47
FIEXC102855	KAUTOSELKÄ	MPL	7547314	432663,3	321,967	0,3	78,7	3,9	1,78	2,83	8,21
FIEXC102856	KAUTOSELKÄ	MPL	7537169	432451,2	80,393	0,2	29,3	5,3	2,69	1,89	5,67
FIEXC102857	KAUTOSELKÄ	MPL	7530812	431445,9	164,005	0,4	28,3	4,8	2,4	1,64	5,23
FIEXC102858	KAUTOSELKÄ	MML	7534621	432395,4	182,218	0,8	50	7,8	4,06	2,25	8,59
FIEXC102859	KAUTOSELKÄ	MPL	7547864	434330,9	266,32	0,3	37	4	1,8	1,81	5,51
FIEXC102860	KAUTOSELKÄ	MPL	7532627	432195,3	17,638	0,2	25,8	4,5	2,3	1,6	4,91
FIEXC102861	VESMAJÄRVI	MML	7532640	432932,8	208,103	0,1	9,8	4,6	2,76	1,05	3,75
FIEXC102862	VESMAJÄRVI	MaficVolc	7536460	421317,2	90,671	1,6	9	4,2	2,61	0,99	3,47
FIEXC102863	VESMAJÄRVI	MPL	7549361	433841,8	266,694	0,2	12,4	4,8	2,83	1,38	4,3
FIEXC102866	VESMAJÄRVI	MLAVA	7535061	438239,3	-97,499	0,2	12	5,4	3,19	1,47	4,48
FIEXC102867	KAUTOSELKÄ	MML	7546095	436542,6	150,569	0,1	40,2	6,2	3,33	1,97	6,66
FIEXC102868	VESMAJÄRVI	MPL	7533219	426415	56,21	<0.1	11,6	3,3	2,02	0,74	2,75
FIEXC102869	TARKISTA	MPL	7534787	437874,6	-127,184	0,1	25,4	3,5	1,77	1,24	4
FIEXC102871	KAUTOSELKÄ	MPL	7541153	432240,1	153,903	<0.1	35	5,7	2,9	1,94	6,22
FIEXC102874	KAUTOSELKÄ	MPL	7546392	431209,5	-55,845	0,2	44,6	7,2	3,79	2,46	7,77
FIEXC102876	VESMAJÄRVI	MML	7546852	428948,2	-46,921	0,2	10,1	3,3	2,02	0,8	2,74
FIEXC102877	VESMAJÄRVI	MaficVolc	7545549	421024,5	161,852	0,2	16	1,2	0,7	0,62	1,65
FIEXC102878	KAUTOSELKÄ	MML	7546881	429171,9	220,554	0,1	37,5	6,4	3,64	2,29	6,73
FIEXC102879	VESMAJÄRVI		7539057	420506,8	136,707	<0.1	9,4	5,1	3,19	0,97	4,13
FIEXC102880	KAUTOSELKÄ	MLava	7542270	429221,4	206	0,3	41,8	7,1	3,69	1,92	7,44
FIEXC102881	KAUTOSELKÄ	MPL	7537008	434075,9	184,673	<0.1	27,8	5,3	2,8	1,51	5,53
FIEXC102883	KAUTOSELKÄ	MML	7541661	431623,2	164,425	0,3	29,5	4,6	2,43	1,78	5,08
FIEXC102884	VESMAJÄRVI	MML	7533213	424853,8	41,836	0,2	11,3	4,1	2,36	1,15	3,65
FIEXC102885	VESMAJÄRVI	MML	7530051	432649,3	63,574	0,1	8,3	4,3	2,62	0,86	3,33
FIEXC102888	VESMAJÄRVI	MML	7539101	438835,1	105,322	<0.1	21,4	4	2	2,47	4,15
FIEXC102889	VESMAJÄRVI	MPL	7530278	430285,1	-188,991	<0.1	19,8	3,3	1,7	1,28	3,69
FIEXC102890	KAUTOSELKÄ	MML	7543942	434213,7	131,098	0,1	43,8	7,1	3,64	2,26	7,5
FIEXC102892	VESMAJÄRVI	MPL	7537780	428516,2	81,088	0,2	11,7	3,2	2,11	0,83	2,56
FIEXC102893	VESMAJÄRVI		7540664	419698,5	-161,782	<0.1	11,4	6	3,55	1,4	4,93
FIKIO112579	KAUTOSELKÄ	MML	7537028	433095,9	-495,47	0,2	31,7	4,3	2,21	1,56	5,16
FIKIO112583	KAUTOSELKÄ	MDY	7537019	433062,8	-570,009	0,3	40,9	6,4	3,26	2,21	7,13
FIKIO112585	KÖNGÄS?	MML	7537047	433222,7	-211,559	0,2	109,2	14,9	7,63	5,55	17,37
FIKIO112586	KÖNGÄS?	MML	7537006	433002,4	-701,946	0,2	100	15,5	7,93	5,58	17,62
FIKIO112815	KAUTOSELKÄ	MML	7537228	433082,4	-608,296	0,2	35,4	3,7	1,87	1,68	5,42
FIKIO112821	KAUTOSELKÄ	MPL	7537222	433028,7	-668,086	0,2	39,9	6,2	3,15	1,98	7



sample	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Rb	Sb	Sm	Tb	Tm	Yb	Al	B
FIEXC102851	0,6	4,1	0,2	7	1,5	<2	2,4	2,03	0,45	0,23	1,45	79000	<10
FIEXC102853	1,07	4,3	0,36	9,9	1,9	4,3	0,8	3,31	0,8	0,41	2,56	71700	<10
FIEXC102854	0,77	3	0,35	4,8	1	22,6	2,7	1,66	0,49	0,34	2,28	69500	<10
FIEXC102855	0,64	33,7	0,36	50,3	11,2	<2	0,3	11,08	0,92	0,25	1,85	61500	<10
FIEXC102856	1,01	11,9	0,26	20,3	4,3	5,5	0,8	5,26	0,91	0,33	1,95	74100	<10
FIEXC102857	0,9	11,5	0,25	19,7	4,2	44,6	3,4	4,96	0,83	0,3	1,83	67600	<10
FIEXC102858	1,5	20,8	0,46	33,2	7,3	5,3	4	8,1	1,35	0,52	3,23	66600	<10
FIEXC102859	0,67	16,2	0,25	23,7	5,3	<2	0,2	5,8	0,79	0,23	1,55	69700	<10
FIEXC102860	0,86	10,7	0,26	17,9	3,8	2,3	0,2	4,59	0,78	0,3	1,81	73700	<10
FIEXC102861	0,96	3,8	0,35	8,4	1,6	3,4	1,5	2,81	0,7	0,37	2,41	73600	<10
FIEXC102862	0,89	3,3	0,35	7,8	1,5	3,7	0,4	2,6	0,65	0,36	2,35	64700	<10
FIEXC102863	0,99	4,8	0,35	10,6	2	<2	<0.2	3,43	0,77	0,38	2,46	76500	<10
FIEXC102866	1,12	4,7	0,36	10,2	2	4,6	0,9	3,3	0,82	0,43	2,65	70400	<10
FIEXC102867	1,2	17,1	0,41	25,5	5,7	5,3	<0.2	6,32	1,06	0,44	2,8	74200	<10
FIEXC102868	0,69	5,2	0,23	7,5	1,6	6,2	1	2,11	0,49	0,27	1,69	81300	<10
FIEXC102869	0,66	10,9	0,18	16,4	3,6	6	0,5	3,94	0,62	0,22	1,36	70200	<10
FIEXC102871	1,07	14,3	0,3	24	5,2	18,1	0,6	6,04	0,99	0,36	2,22	61900	<10
FIEXC102874	1,39	18,3	0,43	29,8	6,5	14,3	1	7,46	1,24	0,49	3,06	68200	<10
FIEXC102876	0,68	4,3	0,25	7,2	1,5	5,2	1,4	2,13	0,5	0,27	1,76	75500	<10
FIEXC102877	0,22	6,8	0,16	10,3	2,3	<2	3	2,32	0,23	0,11	0,86	73100	<10
FIEXC102878	1,29	16,6	0,47	24,5	5,4	42	0,4	6,16	1,08	0,49	3,16	67500	<10
FIEXC102879	1,08	3,4	0,38	8,4	1,6	2,9	5	2,97	0,78	0,43	2,73	68900	<10
FIEXC102880	1,37	16,3	0,41	27,3	6	5,3	0,3	6,97	1,22	0,48	2,88	75400	<10
FIEXC102881	1,03	11,1	0,3	19,5	4,1	2,1	4,5	5,09	0,9	0,36	2,2	71800	<10
FIEXC102883	0,88	12,1	0,29	20	4,3	2,6	0,2	4,94	0,8	0,32	1,97	59800	<10
FIEXC102884	0,83	4,3	0,28	9,4	1,8	<2	6,2	2,95	0,64	0,32	2,02	66400	<10
FIEXC102885	0,89	3,2	0,32	7,2	1,4	<2	1,6	2,45	0,63	0,35	2,22	67600	<10
FIEXC102888	0,76	9	0,19	14,2	3,1	<2	0,6	3,81	0,68	0,25	1,49	66200	<10
FIEXC102889	0,63	8,2	0,19	13,7	3	6	1,2	3,48	0,58	0,22	1,33	75500	<10
FIEXC102890	1,36	18,8	0,31	28,7	6,3	5,6	1,7	7,08	1,21	0,45	2,57	74300	<10
FIEXC102892	0,7	5,1	0,32	7,4	1,7	2,1	1,5	2	0,48	0,3	2,07	79000	<10
FIEXC102893	1,25	4	0,39	10,7	2	<2	1,8	3,77	0,91	0,48	2,93	66700	<10
FIKIO112579	0,83	12,4	0,32	20,9	4,6	2,4	2,7	5,33	0,78	0,32	2,06	63600	<10
FIKIO112583	1,26	16,6	0,36	26,3	5,8	10,9	4	6,78	1,11	0,44	2,56	68100	<10
FIKIO112585	2,94	44,7	0,89	66,7	14,9	18,8	2,7	16,29	2,64	1,02	6,17	62800	<10
FIKIO112586	3,04	39,7	0,92	64,7	14,1	26,9	2,3	16,33	2,7	1,07	6,38	64300	<10
FIKIO112815	0,7	14,1	0,26	23,4	5,1	11,6	3,8	5,87	0,73	0,27	1,73	63100	<10
FIKIO112821	1,22	16,2	0,36	26	5,7	15,1	4	6,66	1,1	0,42	2,56	67200	<10

sample	Ba	Be	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
FIEXC102851	15,4	<0.5	50200	39,7	281	102	80500	237	25,8	54000	1380	<2	6770
FIEXC102853	83,5	<0.5	44400	43,2	129	95,3	107000	1890	14,7	38700	1360	<2	18700
FIEXC102854	283	<0.5	71200	41,2	129	70,5	75400	9590	36,6	40400	1300	<2	11100
FIEXC102855	9,97	0,604	51600	25,5	41,5	9,06	105000	<100	19,3	31900	2350	<2	18000
FIEXC102856	133	<0.5	66600	32,8	135	15,7	104000	3020	15,9	44000	1720	<2	20400
FIEXC102857	586	0,657	65900	60,1	1020	135	95000	21100	29,3	49600	1880	3,61	7090
FIEXC102858	48,5	1,29	58100	39,5	63,4	82,8	104000	1670	7,2	26700	1650	2,58	24500
FIEXC102859	13,8	1,42	68300	42,2	110	57,5	103000	194	19,6	29900	1540	<2	25400
FIEXC102860	49,2	0,506	73400	46,3	299	120	89100	1090	6,28	41100	1390	2,53	26300
FIEXC102861	305	<0.5	31500	53,7	68,1	129	110000	3230	14,9	44500	1100	<2	13900
FIEXC102862	114	0,502	73700	47,6	172	131	81700	4000	24	30000	1240	<2	21000
FIEXC102863	44,5	<0.5	93100	55	154	145	91200	1690	11,9	30400	1490	<2	13100
FIEXC102866	135	<0.5	53900	48,5	98,6	94,3	111000	3250	21,7	44700	2140	<2	21900
FIEXC102867	89,6	1,04	53400	43,8	90,6	44,2	96000	3010	20,1	28700	1650	<2	26900
FIEXC102868	117	0,547	50700	38,9	273	122	70600	3200	21,6	43200	1280	<2	28500
FIEXC102869	73,8	0,716	82300	47,5	204	76	82900	1990	18,9	31000	1280	<2	24200
FIEXC102871	206	1,19	77600	59,5	77,8	165	109000	3220	8,31	30000	1740	<2	20400
FIEXC102874	199	1,58	54300	32,2	116	15,3	112000	5510	14,2	32100	1780	<2	29400
FIEXC102876	134	<0.5	74200	41,1	314	126	72600	2800	12,4	44800	1240	<2	20000
FIEXC102877	13,1	0,523	53900	45,4	122	5,86	77600	116	68,3	41200	1320	<2	22400
FIEXC102878	493	1,31	77700	18,8	104	122	59300	16700	29,9	19400	1040	<2	10500
FIEXC102879	193	<0.5	37800	45,6	91,7	34,1	103000	2810	27,2	49700	1670	<2	28800
FIEXC102880	116	1,3	21600	43,9	53,7	86,8	109000	3100	19,3	37300	1770	<2	19000
FIEXC102881	44	0,938	56000	44,9	122	51,2	97800	1030	26,1	35400	1450	<2	16700
FIEXC102883	43,7	0,866	87900	30	78,7	89,5	87900	1630	17,9	33600	1530	<2	15100
FIEXC102884	12,9	0,546	58200	44,8	95,8	129	97400	132	24,7	39500	1610	<2	15500
FIEXC102885	32,5	<0.5	68200	53,8	101	185	97400	1090	8,52	35600	1910	<2	25200
FIEXC102888	2,5	<0.5	55200	45,6	567	76,9	97400	155	32	83200	1440	<2	373
FIEXC102889	104	0,638	61300	54,8	629	103	85900	3060	31,6	45200	1110	<2	19500
FIEXC102890	124	1,22	65000	38	146	49,3	108000	2950	18,1	32000	1660	<2	22100
FIEXC102892	61,4	<0.5	63200	39,9	103	80,6	75600	975	19,9	46600	1300	<2	19400
FIEXC102893	50,2	0,532	55800	49,9	31	86,6	105000	1110	26,6	33500	1520	<2	19600
FIKIO112579	75,7	0,852	62400	42,9	88,5	79,2	101000	2120	22,8	29500	1350	<2	18900
FIKIO112583	199	<0.5	55800	40,1	151	84,1	108000	3770	12,5	38400	1790	<2	24500
FIKIO112585	306	2,25	34500	21,5	11,7	6,21	133000	4540	13,6	23800	2350	<2	20100
FIKIO112586	191	2,51	32900	21,7	7,23	11	119000	5710	13,7	21600	2030	<2	23800
FIKIO112815	98,6	0,865	49400	36,4	101	61	102000	4770	16,2	33500	1670	4,86	30700
FIKIO112821	160	1,73	84400	40,3	170	78,6	109000	3780	13	29100	3540	3,14	6420

sample	Ni	P	Pb	S	Sc	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	Al2O3 %	CaO %
FIEXC102851	122	287	<10	1370	39,4	107	4940	259	14,2	97,1	25	13,52	6,18
FIEXC102853	85,2	500	<10	424	47,9	105	8940	379	25,8	101	51,1	13,83	6,18
FIEXC102854	88,7	235	<10	7760	44,3	76,9	4290	292	18,4	82,9	37,1	14,48	10,48
FIEXC102855	31,3	3420	<10	797	24,2	181	6840	162	13,9	173	218	12,4	7,42
FIEXC102856	57,7	712	<10	541	42,8	259	12300	407	24,1	98,3	95,9	14,96	8,39
FIEXC102857	269	595	87,9	375	39,3	179	11100	365	21,2	110	94,6	13,62	8,87
FIEXC102858	41,7	1250	<10	1440	31,1	103	17100	468	37,9	215	178	12,81	8,14
FIEXC102859	82,8	823	<10	1260	34	191	11900	400	14,8	115	94,2	13,89	9,86
FIEXC102860	126	626	<10	2680	35,5	198	10800	372	20,5	81,7	85	15,38	9,66
FIEXC102861	80,2	348	<10	1530	48,1	98,9	7170	340	22,5	102	36,2	14,73	4,04
FIEXC102862	91,2	400	<10	3670	43,1	65,9	6440	296	21,5	188	55,7	12,69	10,68
FIEXC102863	82,5	403	<10	1990	46	186	9380	397	24,2	111	32	14,33	12,86
FIEXC102866	60,6	435	<10	1350	47,8	154	8320	367	26,3	106	19,2	14,03	7,14
FIEXC102867	65,4	914	<10	72,8	35,5	239	13700	415	28,3	103	144	14,47	7,57
FIEXC102868	121	349	<10	364	44,5	117	5100	292	17	82,5	27,1	15,7	7
FIEXC102869	135	592	<10	2010	23,2	272	9350	224	15,3	78,8	66	13,35	11,82
FIEXC102871	69,8	862	<10	444	32,8	251	14800	451	24,8	121	99,5	11,55	10,4
FIEXC102874	69,8	1020	<10	506	33,2	171	16000	455	32,6	129	140	13,29	7,43
FIEXC102876	93,4	300	<10	559	42	197	5410	290	16,4	96,7	25,7	14,34	10,34
FIEXC102877	99,3	441	<10	<20	43,6	140	1230	281	4,4	128	56,4	14,62	7,92
FIEXC102878	59,6	927	<10	2780	32,8	99,5	12300	394	30,7	107	159	14,81	11,5
FIEXC102879	72,2	408	<10	70,2	45,4	87,8	6710	304	25,6	128	22,8	14,02	5,29
FIEXC102880	70	1110	<10	<20	35,8	87,8	16000	430	34	144	165	14,81	2,76
FIEXC102881	73,6	703	<10	2980	35,6	118	11300	370	24,1	102	77	14,07	7,91
FIEXC102883	46,9	723	<10	317	29,9	207	10800	308	20,5	112	114	12,19	12,69
FIEXC102884	69,1	373	<10	657	39	56,8	7440	341	19,6	123	43	13,53	8,4
FIEXC102885	65	351	<10	2960	47,3	113	6510	342	21	82	31,6	13,69	8,89
FIEXC102888	243	594	<10	67,7	32,5	48,3	9830	322	17	77,7	47,8	14,32	8,06
FIEXC102889	308	468	<10	1110	35	268	8640	304	13,9	72,6	63,4	15,28	8,72
FIEXC102890	78,7	982	<10	655	34,5	336	13400	399	31,5	96,8	81,4	14,82	9,05
FIEXC102892	70,8	328	<10	147	46,5	154	4640	306	17	82,4	48,3	15,88	8,37
FIEXC102893	35,6	596	<10	1710	42,6	106	8700	354	29,5	91,9	41,2	13,44	7,92
FIKIO112579	62,1	931	<10	1140	29,5	215	10500	399	17	110	137	13,16	9,34
FIKIO112583	86,7	968	<10	1510	35,6	328	15400	447	27,9	108	135	14,29	7,2
FIKIO112585	6,86	5070	<10	662	26,9	106	18900	111	69	152	332	12,59	4,68
FIKIO112586	4,5	4710	<10	2120	26,8	110	18100	106	69,3	95,1	301	13,2	4,59
FIKIO112815	63,5	965	<10	1090	31,9	243	14100	422	15,1	87,2	110	12,69	7,18
FIKIO112821	73,3	943	<10	2550	32,5	149	15500	438	26,9	154	127	12,76	11,22

sample	Fe2O3 %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %
FIEXC102851	10,9	0,035	9,17	0,17	0,76	0,064	49,38	0,75
FIEXC102853	14,4	0,2	6,51	0,199	2,15	0,122	41,06	1,31
FIEXC102854	10,5	1,07	7,2	0,162	1,38	0,063	41,3	0,7
FIEXC102855	14,1	0,022	5,73	0,283	2,03	0,88	39,28	2,44
FIEXC102856	14	0,327	7,1	0,206	2,71	0,199	42,74	1,87
FIEXC102857	12,8	2,23	7,79	0,223	0,83	0,158	43,04	1,84
FIEXC102858	14,1	0,2	4,53	0,198	2,9	0,304	42,28	2,6
FIEXC102859	13,4	0,032	5,43	0,178	3,07	0,213	37,32	2,03
FIEXC102860	12	0,13	5,6	0,159	4	0,178	44,1	1,71
FIEXC102861	15	0,326	7,51	0,163	1,68	0,101	45,58	0,99
FIEXC102862	11,2	0,399	5,35	0,153	2,31	0,096	40,39	0,96
FIEXC102863	12,2	0,18	4,57	0,176	1,86	0,119	43,99	1,49
FIEXC102866	14,9	0,342	7,18	0,316	2,86	0,127	43,61	1,29
FIEXC102867	13,1	0,327	4,78	0,182	3,49	0,244	46,98	2,22
FIEXC102868	9,72	0,359	7,46	0,165	3,43	0,083	46,03	0,78
FIEXC102869	11,3	0,207	5,44	0,155	2,6	0,15	36,62	1,44
FIEXC102871	14,6	0,337	5,13	0,211	2,23	0,233	35,8	2,21
FIEXC102874	15	0,6	5,12	0,214	3,73	0,281	43,82	2,62
FIEXC102876	10	0,309	7,74	0,159	2,59	0,086	47,32	0,83
FIEXC102877	10,7	0,01	7,15	0,169	2,61	0,11	41,01	1,17
FIEXC102878	8,31	1,91	3,54	0,13	1,37	0,26	43,27	1,82
FIEXC102879	14,3	0,308	8,33	0,212	3,45	0,121	44,55	1
FIEXC102880	14,4	0,327	6,25	0,228	2,05	0,272	44,45	2,32
FIEXC102881	13,6	0,112	6,1	0,181	2,08	0,178	43,41	1,81
FIEXC102883	12,2	0,171	5,94	0,184	1,76	0,189	35,53	1,73
FIEXC102884	13,4	0,013	6,7	0,196	1,88	0,098	41,09	1,12
FIEXC102885	13	0,121	5,53	0,229	3,72	0,086	47,07	1,02
FIEXC102888	13,7	0,021	13,7	0,179	0,07	0,14	34,2	1,55
FIEXC102889	12,1	0,35	7,91	0,139	2,56	0,117	40,94	1,37
FIEXC102890	15	0,329	5,42	0,21	3,04	0,262	43,3	2,27
FIEXC102892	10,2	0,108	7,92	0,161	2,64	0,096	47	0,73
FIEXC102893	14,4	0,125	5,77	0,184	2,39	0,15	41,12	1,35
FIKIO112579	14,1	0,238	5,2	0,162	2,37	0,251	39,96	2,26
FIKIO112583	14,8	0,432	5,99	0,22	3,35	0,278	44,23	2,24
FIKIO112585	18,3	0,492	4,03	0,29	2,5	1,32	43,96	2,9
FIKIO112586	16,5	0,64	3,81	0,255	3	1,31	45,84	3,11
FIKIO112815	13,6	0,54	5,7	0,199	3,86	0,269	39,73	2,5
FIKIO112821	15,2	0,441	5,28	0,446	1,02	0,242	44	2,51



sample	GROUP	Petrology	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Cd	Ce	Dy	Er	Eu	Gd
FIKIO112822	KAUTOSELKÄ	MPL	7537213	432933,2	-766,832	0,2	71,1	9,1	4,75	3,05	10,31
FIKIO112825	KAUTOSELKÄ	MPL	7537210	432912,2	-787,338	0,1	57,1	8,3	4,43	3,52	9,12
FIKIO112826	VESMAJÄRVI	MDY	7537210	432908,3	-791,202	<0.1	14,9	4,7	2,65	1,24	4,42
FIKIO112829	VESMAJÄRVI	MDY	7537169	432442,8	110,572	0,1	19,8	3,5	1,82	0,97	3,86
FIKIO112837	TARKISTA	MML	7537149	432622,2	-410,818	<0.1	20	3,8	1,99	1,29	4,1
FIKIO112841	KAUTOSELKÄ	MML	7537130	432734,6	-566,88	<0.1	39,4	6,6	3,36	2,21	7,3
FIKIO112842	TARKISTA	MPL	7537125	432766,1	-608,572	<0.1	20,1	3,9	1,93	0,92	4,17
FIKIO112844	KAUTOSELKÄ	MDY	7532085	432159,6	176,062	0,2	25,8	4,8	2,48	1,63	5,12
FIKIO112845	KAUTOSELKÄ	MPL	7532084	432162,1	169,562	0,1	28,2	5,3	2,88	1,67	5,58
FIKIO112849	KOMATIITTI	UMV	7532076	432176,2	131,584	<0.1	9,6	1,7	0,87	0,3	1,96
FIKIO112876	KOMATIITTI	MML	7532072	432182,7	114,304	0,1	19,9	3,8	2,01	1,27	4,13
FIKIO112877	KOMATIITTI	UMV	7532062	432201	65,063	<0.1	15,5	3	1,57	0,79	3,24
FIKIO112881	KOMATIITTI	TCS	7535894	432899,7	-621,44	<0.1	21,4	3,2	1,6	1,16	3,55
FIKIO112883	KOMATIITTI	UMV	7535891	432933,4	-624,103	0,1	11,1	2,4	1,22	0,82	2,61
FIKIO112885	KOMATIITTI	UMV	7535885	433005,8	-630,514	<0.1	9,8	1,2	0,58	0,6	1,61
FIKIO112887	KAUTOSELKÄ	MML	7536274	433528,3	122,068	<0.1	30,8	4,5	2,28	1,88	5,28
FIKIO112888	KAUTOSELKÄ	MDY	7536106	432602,8	-29,066	0,1	32,1	5,9	3,09	2,11	6,4
FIKIO112891	KAUTOSELKÄ	MML	7535670	432633,5	-77,629	0,7	26	4,9	2,48	1,73	5,22
FIKIO112893	VESMAJÄRVI	MML	7534919	433140,4	-985,011	0,2	19,5	5,1	2,89	1,46	4,81
FIKIO112894	KAUTOSELKÄ	MPL	7535201	432773,8	-677,935	0,1	24,4	4,5	2,36	1,56	4,77
FIEXC102894	KAUTOSELKÄ	MPL	7527236	424998,1	219,6528	0,4	48,2	5,5	2,57	2,34	7
FIEXC102895	KAUTOSELKÄ	MPL	7532412	420072,3	205,4718	0,1	28,3	7,9	4,55	2,01	7,31
FIEXC102897	MUUTTUNUT	UMV	7544945	421062,6	307,9338	0,4	8	1	0,57	0,57	1,61
FIEXC102898	KAUTOSELKÄ	MPL	7541099	431613,3	231,2605	0,1	34,5	5,7	3,03	1,66	6,08
FIEXC102899	VESMAJÄRVI	MDY	7549263	433750,6	290,1225	0,3	14,3	5,8	3,35	1,54	5,37
FIEXC102900	VESMAJÄRVI	MML	7543402	423173,3	223,1252	0,1	12,7	4,6	2,84	1,62	4,09
FIEXC102901	VESMAJÄRVI	MPL	7544933	421171,4	315,3202	0,7	13,1	5,2	3,12	1,34	4,6
FIEXC102902	VESMAJÄRVI	MML	7540206	439501	260,0814	0,1	14,6	3	1,52	1,04	3,16
FIEXC102903	KAUTOSELKÄ	MML	7538588	424723,9	208,0178	<0.1	28,7	6	3,65	1,23	5,44
FIEXC102904	VESMAJÄRVI	MML	7523608	429689,2	231,0726	<0.1	17,8	4,7	2,92	0,99	4,02
FIEXC102905	VESMAJÄRVI	MPL	7532442	427071,4	208,2321	0,1	13,2	5,9	3,74	0,95	4,74
FIEXC102906	VESMAJÄRVI	MPL	7543026	420319,2	288,4469	0,2	10,1	1,6	0,92	0,76	2,08
FIEXC102907	MUU	MML	7529155	423593,4	219,3003	0,3	30,7	4,3	2,07	1,74	5,03
FIEXC102908	VESMAJÄRVI	MML	7549310	433818,3	287,0726	0,3	11,8	3,1	1,77	0,97	3
FIEXC102909	VESMAJÄRVI	MPL	7544043	419257,2	209,6045	<0.1	11,9	4,8	2,95	1,16	4,05
FIEXC102910	KAUTOSELKÄ	MPL	7534238	420420,9	208,2516	0,1	38,9	5,5	3,29	1,57	5,39
FIEXC102911	VESMAJÄRVI	MML	7554495	432694,9	324,5762	0,2	8,2	3,8	2,24	1,01	3,33
FIEXC102912	KAUTOSELKÄ	MPL	7534558	430807,9	211,098	0,2	32,3	5,6	3	1,8	5,98

sample	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Rb	Sb	Sm	Tb	Tm	Yb	Al	B
FIKIO112822	1,82	29,2	0,53	41	9,5	3,9	3,5	9,92	1,59	0,65	3,82	75700	<10
FIKIO112825	1,67	23,9	0,51	33,9	7,7	17,9	1,9	8,47	1,44	0,61	3,61	69800	<10
FIKIO112826	0,98	5,7	0,3	11,5	2,3	3,7	1,1	3,58	0,76	0,37	2,18	74900	<10
FIKIO112829	0,7	8,3	0,21	13,3	2,9	4,9	0,8	3,56	0,61	0,25	1,48	56900	<10
FIKIO112837	0,76	7,9	0,23	13,7	2,9	3	1,6	3,78	0,65	0,27	1,6	73800	<10
FIKIO112841	1,3	15,5	0,35	26,1	5,6	5	2	6,8	1,15	0,44	2,6	73800	<10
FIKIO112842	0,75	7,7	0,19	13,9	3	7,4	1,4	3,81	0,66	0,26	1,44	81000	<10
FIKIO112844	0,94	10,3	0,29	17,3	3,7	5	0,2	4,66	0,81	0,34	2,02	72700	<10
FIKIO112845	1,08	11,3	0,37	18,8	4,1	2,2	0,3	5,08	0,9	0,4	2,49	70900	<10
FIKIO112849	0,34	3,9	0,1	6,6	1,4	2,9	0,3	1,82	0,31	0,12	0,7	27000	<10
FIKIO112876	0,77	7,9	0,24	14	2,9	<2	0,5	3,76	0,67	0,27	1,65	61600	<10
FIKIO112877	0,61	6	0,19	10,7	2,3	<2	<0.2	2,91	0,52	0,22	1,31	45900	<10
FIKIO112881	0,61	8,8	0,19	13,3	3	<2	1	3,35	0,55	0,22	1,3	48900	<10
FIKIO112883	0,47	4	0,14	8,4	1,7	<2	0,6	2,36	0,42	0,16	0,96	36300	<10
FIKIO112885	0,22	3,9	0,08	6,5	1,4	<2	8,6	1,71	0,23	0,08	0,52	28500	<10
FIKIO112887	0,89	11,9	0,25	20,3	4,5	5,6	1,9	5,09	0,8	0,31	1,79	78800	<10
FIKIO112888	1,18	12,7	0,36	21,9	4,7	21,9	1	5,91	1,03	0,42	2,51	63600	<10
FIKIO112891	0,96	10,3	0,27	17,7	3,8	2,2	0,5	4,8	0,84	0,33	1,93	67400	<10
FIKIO112893	1,06	7,7	0,33	13,4	2,9	4	4,4	3,99	0,83	0,41	2,37	79700	<10
FIKIO112894	0,9	9,8	0,26	16,2	3,5	7,5	1	4,31	0,76	0,32	1,9	74900	<10
FIEXC102894	1,01	20,4	0,32	29,5	6,8	5,4	0,3	7,09	1,03	0,35	2,15	73500	<10
FIEXC102895	1,59	11,2	0,6	20,8	4,2	5,1	1,1	6,15	1,27	0,63	4,03	69800	<10
FIEXC102897	0,19	3,3	0,08	6,2	1,2	65,1	17,8	1,78	0,21	0,08	0,51	77700	<10
FIEXC102898	1,1	13,8	0,34	22,7	4,9	3,6	1	5,78	0,98	0,4	2,43	72000	<10
FIEXC102899	1,17	7,1	0,42	13,9	2,7	2,2	<0.2	4,28	0,93	0,46	2,89	75300	<10
FIEXC102900	0,96	4,9	0,38	10,2	2	<2	0,5	3,3	0,73	0,4	2,54	57800	<10
FIEXC102901	1,07	5,8	0,41	11,7	2,4	<2	5,7	3,63	0,81	0,43	2,72	78100	<10
FIEXC102902	0,56	5,8	0,17	10,4	2,2	7,5	0,5	2,89	0,51	0,2	1,24	71900	<10
FIEXC102903	1,24	12,7	0,5	17,7	3,9	4,2	0,3	4,72	0,97	0,51	3,36	70400	<10
FIEXC102904	0,99	7,7	0,37	11,5	2,5	<2	0,2	3,23	0,73	0,4	2,56	75400	<10
FIEXC102905	1,26	5	0,43	10,5	2	2,6	0,3	3,52	0,9	0,52	3,2	73600	<10
FIEXC102906	0,34	3,8	0,2	8	1,6	<2	4,4	2,29	0,3	0,15	1,13	70800	<10
FIEXC102907	0,78	12,7	0,22	19,7	4,3	17,9	0,7	4,93	0,77	0,27	1,57	54200	<10
FIEXC102908	0,62	5,1	0,21	9	1,9	2,2	0,3	2,57	0,51	0,24	1,46	80300	<10
FIEXC102909	1	4,4	0,39	9,6	1,9	2,9	1,2	3,14	0,74	0,41	2,67	76700	<10
FIEXC102910	1,13	18,6	0,44	20,3	4,8	<2	4,3	4,81	0,9	0,46	2,95	77100	<10
FIEXC102911	0,78	2,5	0,3	7,8	1,4	2,9	0,4	2,62	0,6	0,31	1,99	77000	<10
FIEXC102912	1,08	12,5	0,36	21,8	4,7	5,2	<0.2	5,63	0,96	0,4	2,47	68100	<10

sample	Ba	Be	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
FIKIO112822	171	1,91	47500	27,3	105	38,5	105000	2790	19,1	36600	1620	<2	14900
FIKIO112825	128	0,819	62400	31,6	64,1	26,6	121000	3530	7,78	28400	2010	<2	21100
FIKIO112826	172	<0.5	50000	45,6	154	71,6	110000	2700	12,1	41100	1670	<2	24300
FIKIO112829	12,8	<0.5	115000	40,6	108	91,4	80900	980	20,8	34800	1250	<2	16100
FIKIO112837	82	<0.5	79100	42,2	72,5	59,6	97900	1640	12	41800	1630	<2	20600
FIKIO112841	315	0,73	55500	39,4	113	12,3	122000	3840	12,5	41300	1650	<2	17900
FIKIO112842	562	<0.5	46500	51,5	85,3	30,7	103000	5410	21,6	46100	1290	<2	23400
FIKIO112844	94,6	0,737	71200	44,7	181	119	102000	3050	15,1	42400	1520	<2	17900
FIKIO112845	54,4	0,733	68300	42,4	161	62,5	91000	1680	11	35700	1570	2,2	29800
FIKIO112849	<2	<0.5	9830	106	1250	78	91900	190	11,6	177000	877	<2	183
FIKIO112876	35,6	0,504	68200	61,4	1670	83,9	91400	861	31,1	78400	1340	<2	14600
FIKIO112877	2,98	<0.5	55100	97,6	826	130	93500	190	30,1	112000	1410	<2	634
FIKIO112881	4,68	0,744	50400	85,4	1340	95,7	98600	265	17	114000	1390	<2	709
FIKIO112883	3,54	0,624	46800	72,5	2710	180	80800	<100	17,9	120000	1030	<2	280
FIKIO112885	3,14	<0.5	31300	100	2930	66,1	91800	278	7,7	155000	1490	<2	189
FIKIO112887	158	0,855	50200	47,9	109	92,5	102000	4170	17,7	39800	1700	<2	27500
FIKIO112888	268	1,06	73600	53,4	32,9	103	141000	4530	6,16	31600	2190	<2	11400
FIKIO112891	40,4	0,851	69900	48,6	64,7	160	108000	850	11,1	37300	1690	<2	19700
FIKIO112893	195	0,546	78000	48	245	86,6	94500	3230	10,9	43900	1340	<2	13200
FIKIO112894	236	0,749	75800	46,7	178	152	95200	4430	16,6	38300	1500	2,25	11700
FIEXC102894	164	0,728	37800	28,4	111	124	89700	4970	24,8	31600	1370	<2	26700
FIEXC102895	135	0,762	37100	37,5	74,9	79	110000	2620	23,9	32500	1730	<2	18400
FIEXC102897	322	0,739	55900	45,6	230	59,2	72100	21400	32,4	37300	1380	<2	11900
FIEXC102898	139	0,93	45900	35,6	102	113	97700	2570	7,95	36600	1570	<2	30700
FIEXC102899	94,4	0,508	67000	54,1	80,1	52,3	113000	2270	17,9	46100	1660	<2	12900
FIEXC102900	28,2	<0.5	100000	35,6	80,5	85,3	89400	819	19,9	34300	1620	<2	14400
FIEXC102901	109	<0.5	16500	45,9	265	38,3	96500	1070	89	53400	1520	<2	23100
FIEXC102902	166	0,815	61100	42,7	439	82,5	71000	3630	19,8	58000	1150	<2	26800
FIEXC102903	114	<0.5	58300	47,4	57	67	111000	2410	12,6	38400	1600	<2	25900
FIEXC102904	17,7	<0.5	35100	48,6	52,3	133	99000	103	34,2	43100	1610	<2	17400
FIEXC102905	83,6	<0.5	47000	36,4	95	54,8	105000	1720	9,5	35700	1720	<2	30500
FIEXC102906	117	<0.5	39900	49,1	96,7	59,4	101000	715	70,8	38700	930	<2	28800
FIEXC102907	1440	0,761	57600	70,9	751	127	106000	15300	32,3	84100	1700	<2	1660
FIEXC102908	433	0,53	78700	44,2	273	78,3	85700	2040	10,4	55200	1410	<2	15000
FIEXC102909	106	<0.5	93900	40,5	220	74,8	67700	1600	15,9	35900	1250	<2	23100
FIEXC102910	71,9	1,1	61600	40,4	96,4	64,7	86800	284	39,1	34600	1360	<2	28700
FIEXC102911	46,9	<0.5	69100	57,5	242	177	91600	1530	6,69	51700	1550	<2	23100
FIEXC102912	61,5	0,808	64100	52,2	103	136	108000	1770	5,15	30400	1670	<2	31900

sample	Ni	P	Pb	S	Sc	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	Al2O3 %	CaO %
FIKIO112822	85,5	1530	<10	769	32,1	291	19500	481	40,6	119	209	15,14	6,18
FIKIO112825	50,6	1260	<10	1010	31,4	298	19200	512	38,7	96,8	161	13,49	8,43
FIKIO112826	67,3	464	<10	479	44,1	268	10100	380	22,5	110	41	14,68	6,47
FIKIO112829	72,9	428	<10	168	29,7	161	6950	287	15,6	92	68,3	10,87	16,27
FIKIO112837	76,1	485	<10	345	36,6	251	9670	345	17	79,8	64,3	15,15	9,9
FIKIO112841	73,4	967	<10	343	34,6	283	15200	444	29,3	120	125	14,29	7,16
FIKIO112842	125	509	<10	32	34,7	245	9540	330	16,3	102	64,6	15,85	6,14
FIKIO112844	100	596	<10	784	35,3	306	11100	378	21,1	96,7	94,2	15,67	9,01
FIKIO112845	72,2	702	<10	1980	34,7	181	11100	367	23,9	81,5	115	14,88	9,32
FIKIO112849	1570	198	<10	1330	17,3	15	1330	69,7	6,82	54,7	9,86	5,93	1,46
FIKIO112876	480	455	<10	112	35,6	216	8260	299	16,4	97,5	80,1	13,91	8,56
FIKIO112877	997	197	<10	201	28,4	20,8	1890	107	12,6	87,9	22,6	10,77	7,47
FIKIO112881	1020	418	<10	2510	28,7	22,8	7850	263	12,9	104	71,7	11,04	6,83
FIKIO112883	637	239	<10	263	39,9	28,5	3750	183	9,57	81,7	27,1	7,7	6,84
FIKIO112885	1060	233	<10	820	17,5	26,3	2970	138	4,26	95,5	20,4	6,25	4,86
FIKIO112887	86,7	673	<10	169	34,5	204	11300	339	19,6	103	85,7	15,56	6,47
FIKIO112888	27,2	764	<10	1600	33,9	332	17100	640	26,1	92,7	120	12,79	9,18
FIKIO112891	63,9	621	<10	1760	34,6	354	13000	447	21,1	172	81,1	14,48	8,95
FIKIO112893	107	457	25,5	1400	44,3	382	8340	332	24,3	109	60,2	15,12	10,1
FIKIO112894	100	592	<10	1360	39,8	301	10700	375	20	91,8	77,5	14,45	9,92
FIEXC102894	79,8	1090	<10	85,3	26,2	132	14000	369	22,1	137	159	14,58	5,52
FIEXC102895	43,3	1150	<10	2220	43,6	163	15800	502	38,5	157	136	13,82	4,8
FIEXC102897	152	322	<10	385	31	119	852	195	3,8	67,7	15,8	17,53	8,31
FIEXC102898	92,4	817	<10	33,4	36,4	140	12900	413	24,9	102	107	14,27	6,27
FIEXC102899	97,3	475	<10	<20	44	163	10500	401	27,9	118	25,4	14,68	9
FIEXC102900	62,8	627	<10	1230	35,9	130	8890	358	22,7	104	57,5	11,33	13,81
FIEXC102901	123	425	<10	241	47,3	30,1	8210	334	26,8	202	57,6	15,66	2,34
FIEXC102902	240	349	<10	<20	38,5	237	7130	279	12,6	74,9	35,2	14,36	8,31
FIEXC102903	57,4	735	<10	638	48,2	192	11200	381	29	105	104	13,69	7,55
FIEXC102904	68,9	399	<10	58,1	44,3	141	7200	329	23,6	107	55,1	14,68	4,19
FIEXC102905	62,7	482	<10	953	53,2	116	9340	410	29,8	119	49,8	14,41	6,14
FIEXC102906	87,3	416	<10	1060	44	116	2910	316	5,65	165	33,2	14,49	5,84
FIEXC102907	522	620	<10	95,8	32,8	87,4	11100	314	17,7	138	91,8	11,78	7,34
FIEXC102908	127	301	<10	<20	39,1	228	7070	282	14,8	79,2	20,1	15,85	10,66
FIEXC102909	103	504	<10	81,7	46,7	244	8150	333	24,1	97,6	60,3	14,09	12,31
FIEXC102910	69,4	848	<10	780	32,4	432	9860	271	27,1	89,1	120	14,87	8,41
FIEXC102911	109	348	<10	2590	47,1	341	6900	314	17,5	85,1	18,6	14,94	9,28
FIEXC102912	65,3	839	<10	266	36,9	197	13800	408	24,7	102	123	13,97	8,3



sample	Fe2O3 %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %
FIKIO112822	14,7	0,305	6,46	0,201	2,02	0,412	44,72	2,94
FIKIO112825	16,7	0,385	4,59	0,243	2,94	0,327	44,46	3,15
FIKIO112826	15,1	0,286	6,81	0,194	2,97	0,134	44,35	1,4
FIKIO112829	11,3	0,1	5,89	0,143	1,63	0,113	31,01	1,32
FIKIO112837	13,3	0,187	6,35	0,199	3,11	0,148	43,85	1,38
FIKIO112841	16,4	0,402	6,73	0,196	2,32	0,26	44,03	2,18
FIKIO112842	14,1	0,57	7,54	0,161	2,95	0,134	44,01	1,49
FIKIO112844	14	0,352	6,12	0,175	2,8	0,194	43,62	1,75
FIKIO112845	12,6	0,19	5,29	0,189	4,41	0,197	46,48	1,86
FIKIO112849	13,6	0,02	29,1	0,11	0,015	0,064	41,54	0,72
FIKIO112876	12,4	0,097	12,2	0,159	1,95	0,132	40,18	1,37
FIKIO112877	13,7	0,024	17,6	0,178	0,12	0,101	39,25	0,94
FIKIO112881	13,6	0,03	17,7	0,17	0,08	0,104	38,02	1,26
FIKIO112883	11,6	0,016	19,4	0,13	0,04	0,074	45,02	0,99
FIKIO112885	13,6	0,021	26,3	0,2	0,015	0,069	39,2	0,78
FIKIO112887	14,1	0,437	6,61	0,207	3,43	0,203	43,94	1,75
FIKIO112888	19,4	0,51	4,49	0,273	1,82	0,248	40,87	2,59
FIKIO112891	14,8	0,103	5,38	0,2	2,87	0,188	43,6	1,91
FIKIO112893	12,9	0,355	7,52	0,171	1,97	0,121	44,09	1,21
FIKIO112894	13,2	0,487	6,54	0,184	1,86	0,136	45,62	1,71
FIEXC102894	12,3	0,52	6,12	0,151	3,28	0,276	46,66	2,3
FIEXC102895	14,8	0,284	5,6	0,214	2,47	0,282	47,62	2,19
FIEXC102897	10,5	2,45	5,52	0,194	1,64	0,081	37,21	0,85
FIEXC102898	13,6	0,288	5,96	0,195	3,79	0,21	46,13	2,1
FIEXC102899	15,4	0,244	7,13	0,231	1,76	0,159	45,47	1,79
FIEXC102900	12,1	0,09	6,04	0,197	1,4	0,147	33,6	1,36
FIEXC102901	13,3	0,119	8,97	0,272	2,64	0,119	45,16	1,27
FIEXC102902	9,86	0,37	9,03	0,14	3,26	0,082	44,19	1,06
FIEXC102903	15,3	0,261	6,41	0,196	3,31	0,211	45,1	1,59
FIEXC102904	13,6	0,016	7,54	0,236	2,24	0,11	48,35	0,97
FIEXC102905	14,6	0,192	5,7	0,213	4,03	0,117	47,73	1,45
FIEXC102906	13,6	0,082	7,02	0,129	3,61	0,116	46,22	1,01
FIEXC102907	14,4	1,51	12,7	0,2	0,2	0,169	38,83	1,84
FIEXC102908	11,8	0,226	8,29	0,165	2,04	0,088	45,76	1,09
FIEXC102909	9,15	0,169	6,18	0,147	3	0,118	43,63	1,15
FIEXC102910	11,9	0,028	6,02	0,166	3,72	0,193	43,05	1,48
FIEXC102911	12,5	0,16	7,73	0,194	3,11	0,108	46,99	1,08
FIEXC102912	14,8	0,198	4,44	0,2	4,55	0,205	47,05	2,16

sample	GROUP	Petrology	N_TM35	E_TM35	Z_TM35	Cd	Ce	Dy	Er	Eu	Gd
FIEXC102914	KAUTOSELKÄ	MML	7537179	429958,5	233,6404	0,2	50,7	7,6	4,2	2,66	8,12
FIEXC102915	VESMAJÄRVI	MML	7528025	430232,1	203,3931	0,2	14,5	3,8	2,22	0,97	3,51
FIEXC102916	KAUTOSELKÄ	MPL	7547648	431873,1	336,3247	0,2	46,8	5,6	2,78	2,18	6,88
FIEXC102917	VESMAJÄRVI	MPL	7540070	419443,3	182,5251	0,3	8,5	3,7	2,25	0,7	3,06
FIEXC102918	KAUTOSELKÄ	MPL	7540295	426135,1	213,0395	0,2	32,4	6,9	4,15	1,8	6,36
FIEXC102919	VESMAJÄRVI	MPL	7550177	429418,2	257,968	0,2	16,9	4,2	2,43	1,21	3,97
FIEXC102920	TARKISTA	MML	7537654	433437,7	226,9385	0,2	25,4	4,8	2,48	1,56	5,08
FIEXC102921	VESMAJÄRVI	MDY	7552269	433556,5	328,5697	0,4	5,4	3,4	2,32	0,64	2,44
FIEXC102922	KAUTOSELKÄ	MPL	7542880	428841,3	243,5895	0,1	38,3	6,5	3,43	2,17	6,99
FIEXC102923	VESMAJÄRVI	MML	7541001	443678,2	293,3501	0,2	22,2	4	2,29	1,3	3,91
FIEXC102865	VESMAJÄRVI	MPL	7532829	426507,9	190,295	0,3	17,8	5,1	2,99	1,26	4,46
FIEXC102886	VESMAJÄRVI	MPL	7540358	425522,1	85,402	<0.1	15,6	4	2,1	1,12	4,01
FIEXC102887	KAUTOSELKÄ	INV	7540564	428102,9	217,255	0,2	20,9	6	3,46	1,48	5,46
FIEXC102891	TARKISTA	MPL	7543971	433236,2	209,681	2,1	25,6	4,1	2,1	1,49	4,49
FIKIO112879	KAUTOSELKÄ	MPL	7532065	432195,1	80,836	<0.1	33,2	6,7	3,63	1,91	6,92
FIKIO112886	MUUTTUNUT	MDY	7536219	432900,4	-716,75	<0.1	37,7	1,9	0,96	1,05	2,61
FIKIO112892	MUUTTUNUT	MDY	7534693	432901,4	-987,126	0,1	45,2	1,9	1	1,05	2,82
FIEXC102896	MUU	MML	7554595	443762,9	290,9514	0,2	48,9	7,7	4,15	2,52	8,25
FIEXC102913	MUU	MML	7545774	426803,9	222,0009	0,6	24,2	11	7,01	2,24	8,53

<b>sample</b>	<b>Ho</b>	<b>La</b>	<b>Lu</b>	<b>Nd</b>	<b>Pr</b>	<b>Rb</b>	<b>Sb</b>	<b>Sm</b>	<b>Tb</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Al</b>	<b>B</b>
FIEXC102914	1,47	21,2	0,51	31,3	6,9	8,2	0,5	7,78	1,31	0,56	3,52	61900	<10
FIEXC102915	0,77	5,6	0,29	10,4	2,1	3,7	0,7	2,96	0,61	0,3	1,93	74400	<10
FIEXC102916	1,01	18,9	0,38	30,4	6,6	6,1	0,3	7,34	1,02	0,37	2,42	63300	<10
FIEXC102917	0,77	3	0,27	7,1	1,3	<2	5,5	2,35	0,57	0,31	1,92	70600	<10
FIEXC102918	1,41	14,4	0,58	20,1	4,4	5,6	1,3	5,39	1,11	0,59	3,79	76700	<10
FIEXC102919	0,85	7	0,3	11,9	2,5	2,4	3,9	3,4	0,68	0,32	2,02	95900	<10
FIEXC102920	0,9	10	0,27	17,8	3,7	<2	2,9	4,79	0,82	0,32	1,96	73600	<10
FIEXC102921	0,75	2,4	0,35	4,5	0,9	4,3	0,3	1,64	0,49	0,34	2,25	71600	<10
FIEXC102922	1,25	15,3	0,39	25,4	5,5	7,3	0,8	6,63	1,13	0,44	2,71	72300	<10
FIEXC102923	0,8	9,2	0,28	13,9	3	8,7	1,1	3,52	0,64	0,31	1,93	85600	<10
FIEXC102865	1,06	7,3	0,39	12,9	2,7	<2	0,6	3,75	0,79	0,41	2,67	75700	<10
FIEXC102886	0,78	6,1	0,21	12,2	2,5	10,5	7,8	3,5	0,67	0,26	1,59	92000	<10
FIEXC102887	1,22	8,5	0,41	15,6	3,2	2,7	0,6	4,55	0,96	0,47	2,91	69900	<10
FIEXC102891	0,78	10,8	0,19	17,1	3,7	5,5	1,1	4,22	0,7	0,26	1,52	76900	<10
FIKIO112879	1,37	12,9	0,42	22,7	4,9	<2	1,1	6,19	1,13	0,5	2,98	83200	<10
FIKIO112886	0,36	17,2	0,12	14,2	3,9	25,5	17,7	2,72	0,36	0,13	0,82	68800	<10
FIKIO112892	0,38	23,8	0,13	18,1	5	43	3	3,19	0,37	0,14	0,85	72300	<10
FIEXC102896	1,47	19,6	0,48	30,8	6,7	7,4	<0.2	7,79	1,32	0,55	3,42	69800	<10
FIEXC102913	2,34	8,7	1,01	19,8	3,8	10,4	1	6,52	1,65	1,01	6,62	75700	<10

<b>sample</b>	<b>Ba</b>	<b>Be</b>	<b>Ca</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>K</b>	<b>Li</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Na</b>
FIEXC102914	232	1,2	52400	33,4	117	69,8	85400	4890	8,96	23400	1370	4,59	32400
FIEXC102915	81,6	0,622	67300	57,3	162	157	98500	2140	19,5	49400	1700	<2	21500
FIEXC102916	17,1	1,1	49100	36,8	51	31,9	106000	833	13,4	29700	1600	<2	25300
FIEXC102917	45,4	<0.5	63400	44,8	76,8	100	79800	348	21,1	39700	1470	<2	36000
FIEXC102918	93,6	0,768	60600	34,3	88,2	46,8	97000	2340	10,4	37200	1580	<2	28600
FIEXC102919	69,4	0,528	60800	38,2	409	119	46900	1750	12,9	23700	664	2,43	38600
FIEXC102920	75,6	0,979	73600	58,7	104	134	108000	1300	14,8	44000	1920	<2	17400
FIEXC102921	43,5	<0.5	67000	43	91,4	89,5	84000	2210	10,4	47900	1490	<2	17000
FIEXC102922	108	0,953	40500	39,3	65,6	118	98300	2340	20,9	30300	1450	<2	28700
FIEXC102923	116	<0.5	78900	27,8	434	22,5	72800	3040	10,5	53100	1250	<2	14700
FIEXC102865	39,8	0,509	59000	52,5	173	148	68000	400	22,7	46800	1150	2,55	24300
FIEXC102886	66,3	0,929	60400	40,9	318	31,8	88300	2760	11	26200	1130	4,33	30600
FIEXC102887	69,8	0,633	61400	39,6	183	77,2	102000	1340	13,1	41200	1620	<2	23100
FIEXC102891	145	0,912	71000	46,5	204	109	98100	3750	12,4	31300	1480	<2	22300
FIKIO112879	51,6	0,746	47100	40,5	106	52,4	94900	1040	12,6	25200	1310	2,56	38500
FIKIO112886	317	1,5	23100	6,92	40,7	8,82	32300	14200	9,82	10300	490	2,51	42700
FIKIO112892	609	1,65	27500	8,35	26,8	17,2	29100	18400	6,7	9360	509	2,27	35100
FIEXC102896	94,7	1,5	71200	40,3	75,2	68,5	110000	4210	9,54	29800	1480	<2	24200
FIEXC102913	632	0,768	23700	45	26	18,2	76400	7320	8,99	10400	652	<2	49800

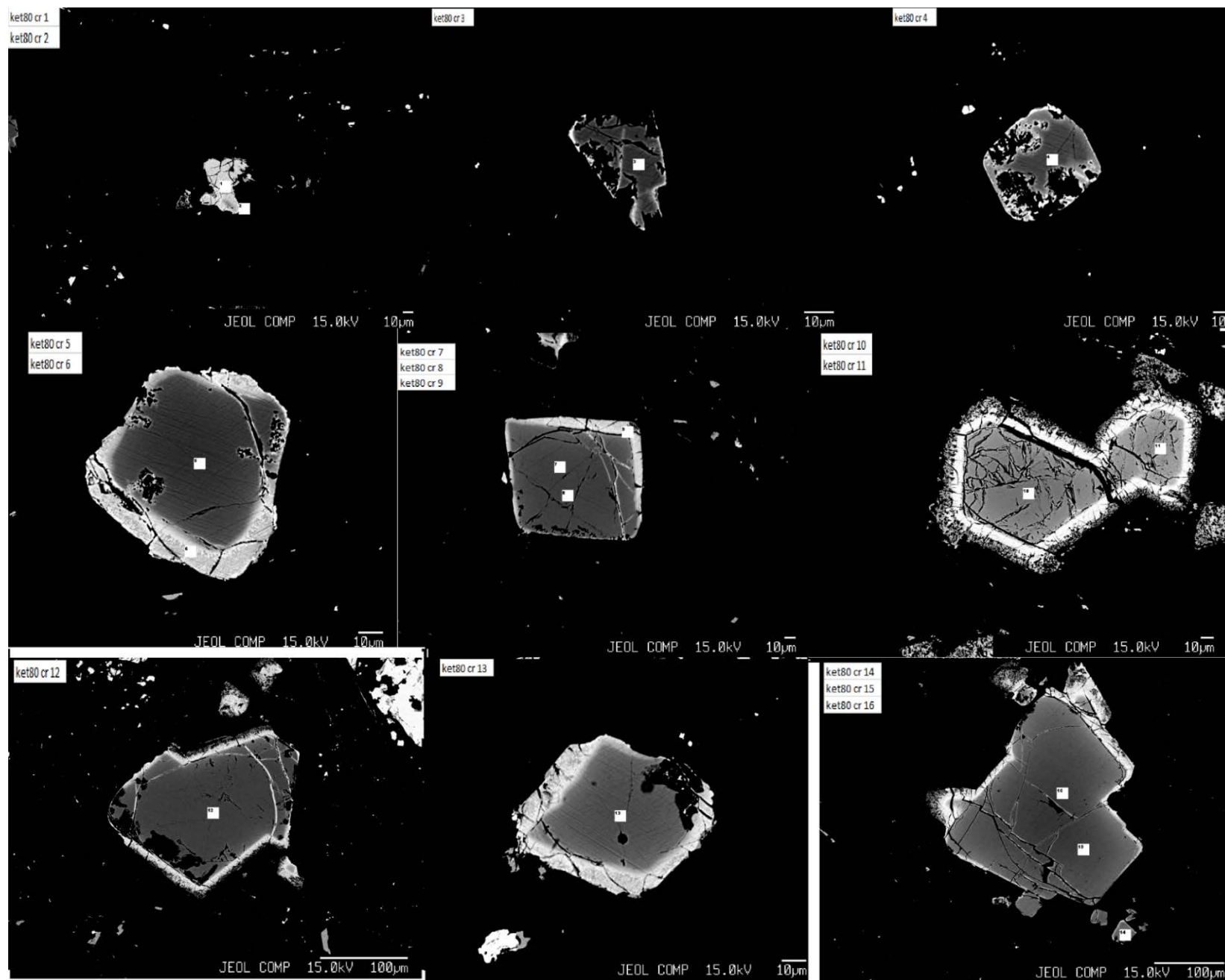


<b>sample</b>	<b>Ni</b>	<b>P</b>	<b>Pb</b>	<b>S</b>	<b>Sc</b>	<b>Sr</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Y</b>	<b>Zn</b>	<b>Zr</b>	<b>Al2O3 %</b>	<b>CaO %</b>
FIEXC102914	56,4	1340	<10	3340	26	171	17200	407	34,4	92,5	190	12,13	7,17
FIEXC102915	181	385	<10	291	36	232	8350	311	17,6	90,5	55,8	15,21	8,26
FIEXC102916	56	1190	<10	299	30,9	158	16800	467	22,2	117	157	13,02	7,32
FIEXC102917	76,5	358	<10	405	44,9	121	6500	296	17,5	86,8	39	13,53	8,98
FIEXC102918	59,2	1090	<10	882	44,7	198	12200	399	33,6	72,8	125	15,09	8,17
FIEXC102919	83,3	718	<10	<20	46,7	239	8810	338	20,3	46,7	45,7	18,4	8,52
FIEXC102920	102	614	<10	335	38,6	229	9610	334	20,7	109	60,5	13,8	9,39
FIEXC102921	88,5	237	<10	<20	48,4	89,2	4490	315	18	96,5	21,5	14,04	9,3
FIEXC102922	54,5	1060	<10	592	36	130	14800	437	28,7	123	139	14,28	5,59
FIEXC102923	15,4	474	<10	821	32,1	295	6990	209	18,4	71,1	25,6	16,23	10,48
FIEXC102865	92,6	535	<10	4380	48,6	138	9070	386	24,7	118	78,3	14,6	8,24
FIEXC102886	213	583	<10	660	38	257	9700	294	17,8	67,3	55,5	18,11	8,12
FIEXC102887	94,1	680	<10	83,6	43	161	10300	363	29	119	81,9	13,75	8,16
FIEXC102891	97	624	73,7	1060	35,1	287	10300	336	17,3	199	33,4	14,69	9,6
FIKIO112879	78,3	792	<10	3300	35,7	102	14100	452	30,5	82,7	125	16,48	6,37
FIKIO112886	23,3	609	<10	15000	5,41	196	1320	49,6	7,72	13,2	142	17,34	3,7
FIKIO112892	12,2	692	<10	3820	5,88	279	1350	56,7	8,15	21	127	17,09	4,34
FIEXC102896	89,7	1020	<10	<20	33,4	123	12900	376	34,5	110	14,4	13,7	9,85
FIEXC102913	49,5	1350	<10	521	44,6	148	18600	362	54,1	87,8	197	16,69	3,17

<b>sample</b>	<b>Fe2O3 %</b>	<b>K2O %</b>	<b>MgO %</b>	<b>MnO %</b>	<b>Na2O %</b>	<b>P2O5 %</b>	<b>SiO2 %</b>	<b>TiO2 %</b>
FIEXC102914	11,8	0,54	3,77	0,165	4,14	0,325	54,3	2,75
FIEXC102915	13,2	0,237	7,62	0,199	2,88	0,113	42,3	1,12
FIEXC102916	14,3	0,091	5,33	0,186	3,27	0,333	45,65	2,87
FIEXC102917	11	0,039	6,61	0,177	4,18	0,08	43,34	0,97
FIEXC102918	13,4	0,254	5,97	0,189	4,09	0,294	46,85	1,92
FIEXC102919	6,61	0,205	4,02	0,081	5,33	0,201	54,89	1,44
FIEXC102920	14,6	0,139	7,32	0,229	2,37	0,185	43,23	1,62
FIEXC102921	11,6	0,246	7,13	0,176	2,37	0,075	52,58	0,72
FIEXC102922	13,5	0,259	5,16	0,177	3,61	0,268	46,92	2,25
FIEXC102923	10,1	0,346	8,82	0,155	2,03	0,145	45,27	1,12
FIEXC102865	9,34	0,044	8,25	0,141	3,15	0,133	46,03	1,4
FIEXC102886	12,1	0,307	4,58	0,142	4,38	0,16	45,08	1,52
FIEXC102887	13,8	0,145	6,93	0,197	3,1	0,202	45,47	1,48
FIEXC102891	13,5	0,407	5,4	0,193	3,11	0,155	43,71	1,69
FIKIO112879	13,1	0,12	4,63	0,159	4,83	0,194	45,88	2,22
FIKIO112886	4,36	1,78	1,93	0,069	5,41	0,18	59,25	0,72
FIKIO112892	4,13	2,27	1,68	0,062	4,46	0,202	60,51	0,71
FIEXC102896	15,2	0,446	4,61	0,187	3,58	0,365	45,63	2,66
FIEXC102913	9,91	0,82	2,02	0,077	6,79	0,41	57,11	2,72

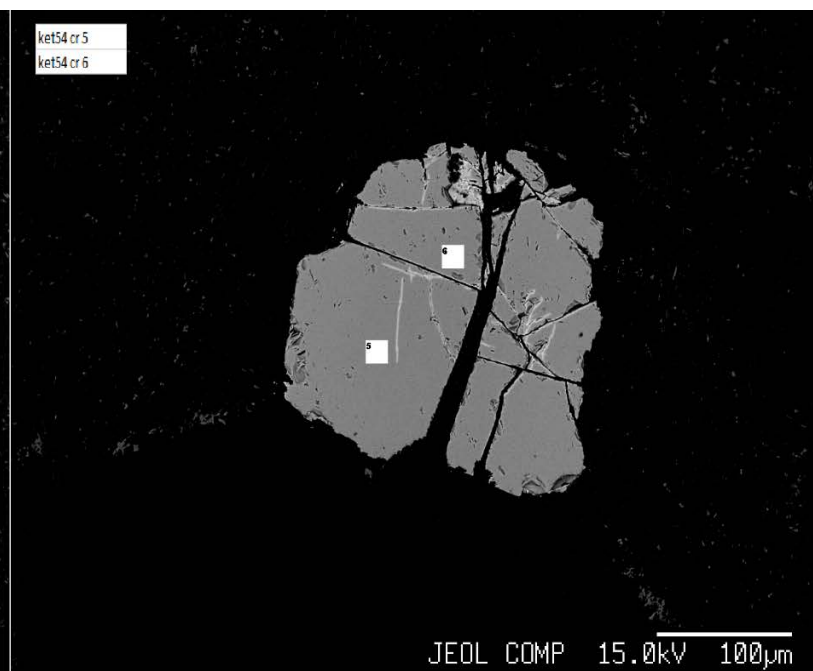
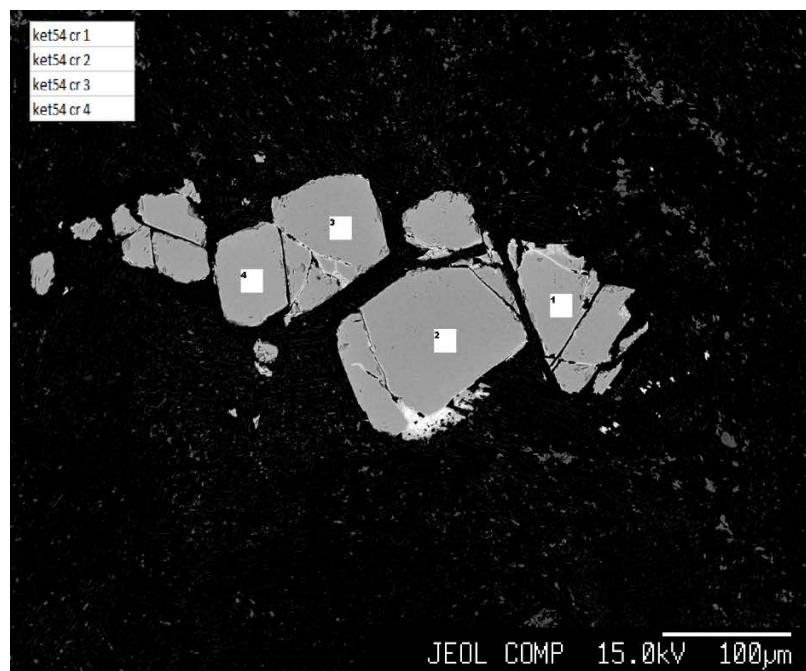
### Liite 3: Mikroanalyysitulokset

KET15603 80m  
chromite analyses.



KET15603 54m

chromite  
analyses.





<i>No.</i>	<i>MgO</i>	<i>Cr2O3</i>	<i>V2O3</i>	<i>TiO2</i>	<i>Al2O3</i>	<i>FeO</i>	<i>MnO</i>	<i>CoO</i>	<i>ZnO</i>	<i>NiO</i>	<i>Total</i>	<i>Comment</i>	<i>part</i>
<b>1</b>	14,227	53,691	0,021	0,166	13,715	18,607	0,966	0,092	0	0,079	101,564	<b>STD Chromite 1</b>	
<b>2</b>	13,725	54,429	0	0,148	13,91	18,684	0,941	0	0,138	0,063	102,038	<b>STD Chromite 2</b>	
<b>3</b>	12,989	54,517	0,147	0,159	13,53	18,565	0,302	0,088	0,038	0,105	100,44	<b>STD Chromite 3</b>	
<b>4</b>	13,047	54,461	0,151	0,146	13,25	18,877	0,258	0	0,08	0,103	100,373	<b>STD Chromite 4</b>	
<b>5</b>	1,29	3,96	0,283	17,87	0,657	67,344	1,201	0,139	0,161	0	92,905	<b>ket80 cr 1</b>	<b>altered</b>
<b>6</b>	0,476	21,442	0,458	6,746	8,922	54,004	1,219	0,037	1,247	0,039	94,59	<b>ket80 cr 2</b>	<b>altered</b>
<b>7</b>	11,066	37,407	0,279	1,464	18,083	27,089	0,316	0,136	0,182	0,123	96,145	<b>ket80 cr 3</b>	<b>altered</b>
<b>8</b>	11,05	31,286	0,375	2,39	19,414	32,761	0,315	0,068	0,025	0,181	97,865	<b>ket80 cr 4</b>	<b>core</b>
<b>9</b>	10,306	36,332	0,231	1,316	20,613	28,813	0,33	0,03	0,12	0,098	98,189	<b>ket80 cr 5</b>	<b>core</b>
<b>10</b>	0,358	5,838	0,341	19,391	0,463	66,49	1,346	0,076	0,138	0,037	94,478	<b>ket80 cr 6</b>	<b>rimm</b>
<b>11</b>	11,384	43,637	0,233	1,162	16,987	25,585	0,348	0,058	0,187	0,095	99,676	<b>ket80 cr 7</b>	<b>core</b>
<b>12</b>	11,235	40,635	0,206	1,193	17,051	24,972	0,34	0,065	0,198	0,114	96,009	<b>ket80 cr 8</b>	<b>core</b>
<b>13</b>	6,861	38,147	0,265	1,363	16,577	31,971	0,492	0,087	0,184	0,06	96,007	<b>ket80 cr 9</b>	<b>rimm</b>
<b>14</b>	10,675	40,778	0,339	1,316	15,704	25,679	0,303	0,068	0,022	0,162	95,046	<b>ket80 cr 10</b>	<b>core</b>
<b>15</b>	7,738	45,968	0,103	0,978	12,294	26,737	0,429	0,06	0,097	0,096	94,5	<b>ket80 cr 11</b>	<b>core</b>
<b>16</b>	11,37	46,623	0,139	0,954	15,137	22,977	0,296	0,084	0,087	0,159	97,826	<b>ket80 cr 12</b>	<b>core</b>
<b>17</b>	9,506	39,926	0,287	1,361	16,442	29,663	0,315	0,042	0,154	0,184	97,88	<b>ket80 cr 13</b>	<b>core</b>
<b>18</b>	10,358	45,106	0,179	0,93	14,299	25,363	0,351	0,097	0,137	0,205	97,025	<b>ket80 cr 14</b>	<b>core</b>
<b>19</b>	12,427	46,807	0,159	0,942	15,958	20,595	0,295	0,087	0,218	0,214	97,702	<b>ket80 cr 15</b>	<b>core</b>
<b>20</b>	13,522	46,355	0,13	0,979	16,712	20,174	0,202	0,055	0,078	0,224	98,431	<b>ket80 cr 16</b>	<b>core</b>
<b>21</b>	12,522	46,612	0,143	1,045	16,406	21,915	0,266	0,055	0	0,194	99,158	<b>ket54 cr 1</b>	<b>core</b>
<b>22</b>	13,706	44,925	0,216	1,067	17,621	20,656	0,257	0,007	0,005	0,25	98,71	<b>ket54 cr 2</b>	<b>core</b>
<b>23</b>	12,909	44,502	0,136	1,074	17,639	21,706	0,299	0,043	0,093	0,174	98,575	<b>ket54 cr 3</b>	<b>core</b>

<b>24</b>	12,594	45,277	0,095	1,064	17,156	22,262	0,303	0,1	0,055	0,159	99,065	<b>ket54 cr 4</b>	<b>core</b>
<b>25</b>	14,065	46,977	0,179	1,042	16,426	20,094	0,218	0,083	0,071	0,214	99,369	<b>ket54 cr 5</b>	<b>core</b>
<b>26</b>	13,44	46,241	0,165	0,969	16,34	19,599	0,333	0,062	0,062	0,212	97,423	<b>ket54 cr 6</b>	<b>core</b>
<b>27</b>	15,782	47,866	0,108	0,946	15,924	16,085	0,184	0,049	0,153	0,283	97,38	<b>ket54 cr 7</b>	<b>core</b>
<b>28</b>	15,59	49,515	0,117	0,934	15,625	16,103	0,28	0,03	0,091	0,166	98,451	<b>ket54 cr 8</b>	<b>core</b>
<b>29</b>	13,072	43,718	0,297	1,012	18,166	21,71	0,242	0,062	0,069	0,082	98,43	<b>ket54 cr 9</b>	<b>core</b>
<b>30</b>	13,516	46,457	0,134	0,942	17,049	19,923	0,286	0,081	0,087	0,195	98,67	<b>ket54 cr 10</b>	<b>core</b>
<b>31</b>	13,363	46,136	0,115	0,892	16,953	20,18	0,259	0,068	0,206	0,146	98,318	<b>ket54 cr 11</b>	<b>core</b>
<b>32</b>	12,825	42,237	0,178	1,137	18,106	23,115	0,285	0,001	0,045	0,244	98,173	<b>ket54 cr 12</b>	<b>core</b>